Deutscher Bundestag
11. Wahlperiode

Drucksache 11/5013

27. 07. 89

Sachgebiet 92

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Dritte Fortschreibung des Berichtes über die Förderung des Einsatzes von Elektrofahrzeugen

Der Deutsche Bundestag hat in seiner 255. Sitzung am 10. Dezember 1986 folgende Beschlußempfehlung des Ausschusses für Verkehr angenommen:

„Die Bundesregierung wird ersucht, zum 30. Juni 1989 eine Fortschreibung des Berichts in Drucksache 10/5823 vorzulegen."

Vorbemerkung

Die Angaben zu diesem Bericht wurden auch von Unternehmen und Verbänden, die mit der Herstellung und dem Betrieb von Elektro-Kraftfahrzeugen befaßt sind, ermittelt.

Die Zusammenstellung der Materialien besorgte die SNV Studiengesellschaft Nahverkehr mbH, Bergisch Gladbach, im Auftrage des Bundesministers für Verkehr. Ein Beirat mit den hauptbetroffenen Bundesressorts und dem Technischen Ausschuß der DGES [1]) begleitete zeitweise die Zusammenstellung.

Der Kostenstand des vorliegenden Berichtes entspricht dem 31. Dezember 1987.

[1]) DGES = Deutsche Gesellschaft für elektrische Straßenfahrzeuge; die DGES ist gleichzeitig die deutsche Sektion der Association Européenne d'Vehicules Electriques Routiers (A. V. E. R. E.)

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministers für Verkehr — A 24/16.50.10 — 08 — vom 18. Juli 1989 gemäß Beschluß des Deutschen Bundestages vom 10. Dezember 1986 — Drucksache 10/6458.

Inhaltsverzeichnis

Anhang
Tabellen und Abbildungen

Tabellenverzeichnis

Seite

Abbildungsverzeichnis

0 Zusammenfassung

Das elektrisch angetriebene Kraftfahrzeug, insbesondere von Batterien versorgt, kann grundsätzlich als Möglichkeit angesehen werden, zur Substitution von Mineralöl im Verkehrswesen und für einen umweltfreundlicheren Verkehr zu dienen.

Das Marktpotential für die Anwendung von Elektroantrieben wird aufgrund immer noch bestehender technischer und damit auch wirtschaftlicher Restriktionen weiterhin als gering eingeschätzt.

Die Erfahrungen im Einsatz von Elektrofahrzeugen haben gezeigt, daß die niedrige Speicherkapazität und das hohe Gewicht der Bleibatterie, ungenügende Reichweite und Zuladung sowie hohe Fahrzeug- und Batteriekosten einen wirtschaftlichen Einsatz der Fahrzeuge derzeit nicht zulassen. Die in Straßenfahrzeugen im Einsatz befindlichen Natrium-Schwefel-Batterien konnten die auf sie gesetzten Erwartungen noch nicht erfüllen, ein ausgiebiger Nachweis der hohen Energie- und Leistungsdichte, des preiswert verfügbaren Rohstoffs sowie des geringen Wartungsaufwandes in der Praxis muß noch erfolgen. Welchen Verlauf die weitere Entwicklung für die Natrium-Schwefel-Batterie nimmt und wie erfolgversprechend die Entwicklung der Nickel-Eisen-Batterie und der Nickel-Kadmium-Batterie ist, bleibt abzuwarten.

Kostenvergleiche von Elektrofahrzeugen sind zur Zeit nur theoretischer Natur: Kostenrechnungen haben ergeben, daß ein Elektrofahrzeug auch bei Großserienfertigung teurer ist als das vergleichbare Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Der Verbraucher/Anwender müßte für ein Elektrofahrzeug, welches gegenüber einem herkömmlichen Pkw nur für wenige Anwendungen geeignet ist (geringere Fahrleistung, geringere Reichweite), erheblich mehr Geld ausgeben. Unter diesen Umständen kann sich kein Markt für Elektrofahrzeuge entwickeln. Eine intensive Förderung durch die Bundesregierung für einen breiten Einsatz von Elektrofahrzeugen ist derzeit nicht vertretbar. Wohl liegt es aber im öffentlichen Interesse, daß das Know-how für Elektroantriebe zum einen nicht verlorengeht und zum anderen auch der ständigen Weiterentwicklung der Technik unterworfen wird. Insbesondere unter Umweltgesichtspunkten (z. B. lokale Emissionsentlastung) ist eine Weiterentwicklung und eine weitere Einsatzerprobung von Elektrofahrzeugen sinnvoll und notwendig. Da sich für Elektrofahrzeuge kein eigener Markt bilden wird, besteht nur die Möglichkeit, Elektrofahrzeuge mittels öffentlicher Förderung weiterzuentwickeln und zu erproben, um bei geänderten ordnungspolitischen Rahmenbedingungen Fahrzeuge mit alternativen Antriebssystemen einsatzbereit zu halten.

In Anbetracht des in allen Bereichen der Technik festzustellenden raschen Wandels und eines daher nicht auszuschließenden Durchbruchs im Bereich der Energiespeichersysteme sollte eine ständige Beobachtung des technischen Fortschritts bei den Elektrofahrzeugen vorgesehen werden — z. B. in Form einer weiteren Fortschreibung dieses Berichtes.

1 Technik

1.1 Fahrzeuge

Zur Entwicklung eines Elektrofahrzeuges stehen grundsätzlich zwei verschiedene Wege zur Verfügung:

— Eine von Grund auf neue Konstruktion, bei der die besonderen Elemente des Elektroantriebs — die meist große und schwere Batterie, der Elektromotor, die Steuerung, das Ladegerät — bei der Gestaltung des Fahrzeuges von vornherein berücksichtigt werden können (Purpose-Design, z. B. Pöhlmann-E-Mobil).

— Eine Konstruktion, die von einem fertig entwickelten Großserienfahrzeug als Basis ausgeht und nachträgliche Änderungen anbringt, so daß die Elektrokomponenten funktionsgerecht untergebracht werden und insbesondere das Fahrwerk an das wesentlich höhere Gewicht des Fahrzeuges angepaßt ist (Conversion-Design, z. B. City-STROMer auf Basis VW-Golf).

Im Elektrostraßenfahrzeug als Purpose-Design können viele Probleme eleganter gelöst werden als bei einem Umbau eines Serienfahrzeuges. So kann z. B. der Batterietrog als tragendes Element in die Fahrzeugkarosserie integriert werden. Der Kabelbaum kann in eine Vertiefung des Bodenblechs im Innenraum des Fahrzeuges verlegt und der Motorraum kann kleiner gestaltet werden, was sich u. a. auch vorteilhaft für den Luftwiderstandsbeiwert auswirkt. Erwartet man aber von dem von Grund auf neuentwikkelten Elektrofahrzeug den gleichen Qualitätsstandard wie bei Großserien-Fahrzeugen, so entstehen auch die gleichen Kosten für Entwicklung und Produktionsmittel, die sich auf über 2 Milliarden DM belaufen können.

Eine Marktstudie der SNV Studiengesellschaft Nahverkehr mbH aus dem Jahre 1983 über den Absatz von Elektro-Personenkraftwagen kam zu dem Ergebnis, daß bei einem Anschaffungspreis von 16 000 DM insgesamt nur ca. 500 000 Fahrzeuge in der Bundesrepublik Deutschland abgesetzt werden können. Auch bei der Annahme, daß alle Fahrzeuge von einem Hersteller gebaut wurden, betragen die Kosten für Entwicklung und Produktionsmittel etwa 4 000 DM pro Fahrzeug . . . Bei diesen zusätzlich zu tragenden Kosten ist ein Preis von 16 000 DM für ein Elektrofahrzeug nicht zu halten. Für den Elektro-Transporter weist die SNV-Studie ein noch geringeres Anwendungs- und Marktpotential auf. Diese Abschätzungen gelten auch heute noch.

Das Marktangebot an straßentauglichen Elektroautos scheint auf den ersten Blick erstaunlich vielfältig. Viele Hersteller haben mindestens einen Prototypen

gebaut und verfügen über Broschüren, welche erste Informationen erlauben. Etwas schwieriger wird es für einen Interessenten, wenn er konkrete Angebote mit Preisen und Lieferfristen verlangt. Die Tabellen 1 bis 6 enthalten einige Angaben zu ausgewählten Elektrofahrzeugen.

In der Bundesrepublik Deutschland werden seit mehr als 15 Jahren rund 300 Elektrofahrzeuge unterschiedlicher Ausführung wie Linienbusse, Transporter und Pkw im Alltagsbetrieb über eine Fahrstrecke von insgesamt mehr als 20 Mio. Kilometern erprobt.

Einen hohen Stand der Entwicklung stellt der CitySTROMer dar; über ihn liegen umfangreiche Erkenntnisse aus dem praktischen Betrieb vor (Tabelle 7). Der CitySTROMer benutzt als Fahrzeugbasis den VW-Golf. Der elektrische Fahrmotor, ein fremderregter Gleichstrommotor, wurde anstelle des Verbrennungsmotors an das serienmäßige 4-Gang-Getriebe einschließlich Kupplung angeflanscht. Das beibehaltene Handschaltgetriebe erlaubt eine dem Fahrbetrieb angepaßte Wahl der Drehzahl-Drehmoment-Paarung bei gleicher Antriebsleistung. Wegen der geringen elektrischen Verluste im Antrieb steht keine Verlustwärme zur Beheizung des Fahrgastraumes zur Verfügung. Die Fahrgastraumheizung und Scheibenklarung erfolgt deshalb durch eine Brennstoffheizung. Die Antriebsbatterie konnte durch die Verwendung eines glasfaserverstärkten Kunststofftroges und einer höher belastbaren Hinterachse aus dem VW-Programm so im hinteren Bereich des Fahrzeuges eingepaßt werden, daß kaum eine Einschränkung der Nutzeigenschaften, wie z. B. Kofferraumvolumen und Sitzplatzverhältnisse, entstand. Die gewählte Nennanschlußleistung des CitySTROMers gestattet die Nachladung der Antriebsbatterie an jeder mit 16 Ampere abgesicherten Haushaltssteckdose.

Die bis Mitte des Jahres 1988 in vier Betriebsjahren erzielte Laufleistung der rund 50 CitySTROMer von fast 1 Mio. Kilometern in der Bundesrepublik Deutschland stellt eine gute Basis für eine Bewertung der Akzeptanz und der Alltagsanwendung dar: Die mittlere Fahrleistung von 1 200 bis 1 500 km pro Quartal entspricht einer arbeitstäglichen Fahrstrecke von 20 bis 25 km und deckt sich weitgehend mit dem Ergebnis früherer Untersuchungen über die notwendige Tagesfahrstrecke für Fahrzeuge, die ausschließlich im Nahbereich eingesetzt werden. Der bisherige Betrieb macht deutlich, daß die Notwendigkeit nach einer Kurzzeitzwischenladung mit hoher elektrischer Leistung oder gar nach einem Batteriewechsel zum Zwecke der Reichweitenvergrößerung nicht vorhanden ist: Der größte Teil der Fahrzeuge wird unterhalb der möglichen Reichweite im Kurzstreckenverkehr eingesetzt. Bei der Entwicklung und Erprobung des CitySTROMers galt eine besondere Aufmerksamkeit der Antriebsbatterie: Die im viersitzigen Fahrzeug eingesetzte kleinere Batterie hat eine Lebensdauer von 15 000 bis 20 000 km; die größere Batterie mit geringerer spezifischer Belastung in der Fahrzeugausführung als Zweisitzer hält etwa 25 000 bis 30 000 km. Leider erlauben diese Zahlen noch keine grundsätzliche Beurteilung des Lebensdauerverhaltens von Blei-Säure-Batterien im allgemeinen, weil die im CitySTROMer eingesetzten Batterien durch eine ungünstige Werkstoffwahl bei der Batteriefertigung beeinflußt wurden und die bisherigen Ergebnisse deshalb nicht als repräsentativ gelten können. Die seit knapp zwei Jahren im Einsatz befindlichen wartungsfreien als sogenannte Gel-Batterien ausgeführten Blei-Säure-Batterien zeigen erwartungsgemäß ein sehr hohes Leistungs- und Lebensdauerverhalten. Doch auch mit dieser Batterie wie auch mit der Nickel-Eisen-Batterie und der Nickel-Kadmium-Batterie, welche auch im CitySTROMer eingesetzt werden, müssen noch weitere Erprobungen und Prüfstandversuche abgewartet werden, bevor über die Eignung der Batterien etwas Endgültiges gesagt werden kann.

Beginnend im Jahre 1974 wurden auf privatwirtschaftlicher Basis etwa 130 Elektro-Transporter im Bundesgebiet eingesetzt, welche in der Zeit von 1980 bis 1984 durch ein vom BMFT gefördertes Programm mit weiteren 50 Elektro-Transportern ergänzt wurden. Alle Elektro-Transporter wurden auf der Basis konventioneller Fahrzeuge erstellt.

In einer Gesamtbeurteilung wurde die Fahrleistung (Beschleunigung, Geschwindigkeit usw.) der Transporter als gut beurteilt. Bedienung und Handhabung, Anpassung an den Verkehrsfluß und Winterbetrieb wurden als befriedigend, Reichweite und das Verhältnis von Zuladung zum Gesamtgewicht der eingesetzten Elektro-Transporter hingegen teilweise als unbefriedigend bezeichnet. Hier liegen zusammen mit der Traktionsbatterie wesentliche Ansatzpunkte zur Verbesserung. In den meisten Anwendungsfällen der Elektro-Transporter waren Jahreslaufleistungen von weniger als 10 000 km erreicht worden. Dies wird durch eine häufige Tagesfahrstrecke von 35 km unterstrichen. Bei einer mittleren Reichweite durch das Speichervermögen der Batterie von ca. 50 km wird deutlich, daß von der Möglichkeit, durch Batteriewechsel die Reichweite zu verdoppeln oder durch Kurzzeitzwischenladung zu vergrößern, nur selten Gebrauch gemacht wurde.

Die mittlere Reisegeschwindigkeit der analysierten Anwendungsfälle der Elektro-Transporter beträgt 23 km/h. Dies entspricht der durchschnittlichen Geschwindigkeit des Individualverkehrs im Stadtbereich und zeigt, daß der Elektro-Transporter im übrigen Verkehrsfluß mitfährt. Die Elektro-Transporter befanden sich nur etwa zwei Stunden pro Tag im Fahrbetrieb. Die übrige Zeit waren einsatzbedingte Standzeiten. Hierin unterscheidet sich die Betriebsweise des Elektro-Transporters auch vom Batterie-Elektrobus, welcher bis zu 16 Stunden täglich im Fahrbetrieb eingesetzt war. Dieser Unterschied in der Anwendung mit langen Standzeiten der Elektro-Transporter-Batterie im teilentladenen Zustand, die unregelmäßig erfolgte Zwischenladung mit z. T. übermäßig langen Ladezeiten und die spezifisch höhere elektrische Belastung der Batterie gelten als wesentliche Ursache für die bisher erreichten geringen Batterie-Lebensdauern zwischen 30 000 und 50 000 km.

Das Anforderungsprofil des Betriebes von Batterie-Elektrobussen leitet sich aus dem Dieselbus nach dem Standard des Verbandes öffentlicher Verkehrsunternehmen ab (Abbildung 1).

In den letzten Jahren ist ein umfangreicher Betriebsversuch mit batterieelektrischen Bussen durchgeführt worden. Begonnen wurde 1974 mit insgesamt 20 Bussen. Wegen des hohen Gewichtes wurde die 6 t schwere Blei-Säure-Batterie auf einem einachsigen Anhänger mitgeführt. Die zunächst zur Energieversorgung eingesetzte Batteriewechseltechnik ist 1982 auf eine „Kurzzeitzwischenladung" umgestellt worden, und die Busse wurden entsprechend umgerüstet: Die fahrplanbedingten Standzeiten an der Endhaltestelle werden nun für die Nachladung der im Anhänger mitgeführten Batterien genutzt (die Ladung erfolgt durch Ankopplung eines elektropneumatisch angetriebenen Dachkontaktarmes an ein stationäres Ladeschienensystem). Insgesamt wurden 17 Fahrzeuge umgerüstet. Seit Beginn des Betriebsversuches sind mehr als zweieinhalb Millionen Wagenkilometer zurückgelegt worden. Hierzu waren über 200 000 Ankoppelvorgänge erforderlich. Die Funktionsfähigkeit und technische Betriebstauglichkeit konnte damit nachgewiesen werden: Die Ankoppeltechnik erwies sich als wartungsarm und zuverlässig. Positiv wirkte sich die Hochstrom-Zwischenladung auf die Lebensdauer der Energiespeicher aus. Gegenüber dem Betrieb mit Speicherwechseltechnik konnte die Lebensdauer im Mittel auf über 140 000 km mehr als verdoppelt werden. Gegenüber dem Dieselbus wurde — trotz wesentlich höheren Fahrzeuggewichts — eine Energieersparnis von ca. 20% erreicht, die vor allem auf die Rückgewinnung der Bremsenergie zurückzuführen ist. Das betriebliche Einsatzspektrum der Elektrobusse liegt aufgrund des maximalen betrieblichen Einzelfahrschrittes von rund 40 km bei max. 20 km Linienlänge. Für die Nachladung an der Endhaltestelle ist zur Zeit eine mittlere Standzeit pro Linienumlaufkilometer von etwa 0,8 Minuten erforderlich.

Aus dem Anforderungsprofil und den Ergebnissen der Betriebsversuche werden die Umrisse eines zukünftigen Batteriebusses erkennbar: Der Elektrobus der Zukunft wird ein Zwischenladespeicherbus sein, der seinen begrenzten Energievorrat während fahrplanbedingter Standzeiten so ergänzt, daß ein ganztägiger Wagenumlauf möglich ist. Der abschnittsweise Einsatz von Oberleitungen ist ebenso denkbar wie die energetische Kopplung mit vorhandenen elektrischen ÖPNV-Systemen. Die Batterie wird unter Berücksichtigung möglicher Betriebsstörungen so ausgelegt, daß einerseits das Fahrzeug nicht aus Energiemangel liegenbleiben kann und andererseits das Speichergewicht nicht zur Überschreitung der kritischen Achslasten führt. Der Einsatzradius liegt deutlich über 25 km, was bei heute üblichen Wagenumlaufplänen die Bedienung der Stadtbuslinien auch in Großstädten ermöglicht. Bevor diese Zukunftsvision wahr wird, sind allerdings noch einige Entwicklungsaufgaben zu bewältigen. Es ist deutlich geworden, daß mit der zur Zeit eingesetzten Speichertechnologie das Ziel nicht erreicht werden kann. Es kommt deshalb darauf an, die in der Entwicklung befindlichen neuartigen Energiespeicher auf möglichst niedriger Produktionskostenebene zur Serienreife zu bringen. Auch hier könnte die Natrium-Schwefel-Batterie neue Maßstäbe setzen. Zentrales Problem bleiben damit die Kosten. Aber auch hier zeichnet sich ein positiver Trend ab, wenn die vorläufigen Preisabschätzungen der Industrie eingehalten werden können und die im Labor erreichte Lebensdauer der Natrium-Schwefel-Batterie bzw. Nickel-Kadmium-Batterie in der Praxis zuverlässig erreicht werden kann.

Eine Betrachtung über die Einsatzmöglichkeiten von Elektrofahrzeugen muß auch Solar-Mobile berücksichtigen. Hier ist deutlich festzustellen, daß Solarfahrzeuge ohne mitgeführten Solargenerator sich durch nichts von einem Elektroauto unterscheiden. Es ist deshalb rein technisch ohne Bedeutung für das Elektrofahrzeug, ob eine Batterie von der Steckdose oder von einer Solar-Tankstelle die Aufladeenergie erhält. Aus der Fülle verschiedenartiger Konstruktionen von Solar-Mobilen ist in der Tabelle 8 das Solar-Auto der Ingenieurschule Biel, Schweiz, beschrieben. Das autonome Alltags-Solarfahrzeug als eine Zukunftsvision zu sehen, erscheint unter technischen Gesichtspunkten derzeit durchaus angebracht und beobachtungswert. Aber als Alltagsfahrzeug ist derzeit ein Solarfahrzeug nicht sinnvoll: Es verbleiben von der eingestrahlten Solarenergie lediglich maximal 6% am Rad. Hier müßten weitere Entwicklungsaktivitäten ansetzen.

1.2 Energiespeichersysteme

Die Funktionsfähigkeit eines Elektrofahrzeuges hängt im wesentlichen von der verfügbaren, speicherbaren elektrischen Energie und der Leistung der Fahrzeugbatterie ab. Deshalb ist die Entwicklung von wiederaufladbaren Batterien mit hoher Energie- und Leistungsdichte bei einigen Typen bis zum Test in Elektro-Straßenfahrzeugen vorangetrieben worden. Seit mehr als zwei Jahrzehnten sind die anvisierten Zielwerte bis zu einem Prozentsatz erreicht, welcher den Übergang von der Produkt- zur Fertigungsentwicklung und von Labor- zu Feldversuchen rechtfertigt.

Aus der Vielfalt der Akkumulatoren wird im folgenden der Entwicklungsstand von einigen der anwendungstechnisch aussichtsreichsten Systeme dargestellt. Zu diesen Systemen zählen vor allem die Eisen-Nickel-, Natrium-Schwefel-, und Nickel-Kadmium-Batterien.

Als Auswahlkriterien für die Elektrotraktion und den Spitzenlastausgleich im elektrischen Netz gelten folgende wichtige Eigenschaften von Batterie-Systemen:

- Die pro Gewicht oder Volumen gespeicherte Energie,
- die pro Gewicht oder Volumen entnehmbare Leistung,
- die Lebensdauer in Lade-/Entladezyklen,
- der Preis pro gespeicherter Energiemenge.

Einige erreichte Eigenschaften und Zielwerte sind in der Tabelle 9 zusammengestellt.

Blei-Batterie

Bis heute ist die Blei-Batterie das einzige für die Verkehrspraxis in begrenzten Bereichen und in der Industrie allgemein verfügbare System. Nachteilig ist die Verwendung des schweren Bleis als Masseträger, welche das ganze System schwer macht. Neben dem hohen Gewicht sind weitere Probleme der Bleibatterie z. B. in der Elektrolytschichtung und Temperatureinstellung sowie Temperaturverteilung in einem Zellenblock (außen relativ kalt, in der Mitte überhöhte Temperaturen) zu sehen. So haben auch bei der Blei-Batterie folgende Verbesserungen stattgefunden: Es wurde ein Konzentrations- und Temperaturausgleich der Schwefelsäure mittels Zirkulation des Elektrolyten hergestellt; es wurden Wärmetauscher in die Zellen eingebaut, um die Temperatur in einem optimalen Bereich zu halten; es wurde ein zentrales Wassernachfüllsystem mit einer Vorrichtung zur zentralen Entgasung geschaffen. Derzeit wird auch ein verschlossenes Batteriesystem entwickelt, welches über einen festgelegten Elektrolyten verfügt.

Nickel-Eisen-Batterie

Das älteste alkalische elektrochemische Energiespeichersystem ist die Nickel-Eisen-Batterie. Der Unterschied zum Bleiakkumulator besteht darin, daß als Elektrodenmaterial Nickel und Eisen statt Blei und daß Kalilauge statt Schwefelsäure als Elektrolyt verwendet wird. Der Aufbau ist derselbe wie bei der Bleizelle. Früher wurde die Eisen-Nickel-Batterie wegen ihrer im Vergleich zum Blei-Akku hohen Lebensdauer für spezielle Anwendungen eingesetzt. Wegen des hohen Preises, der im wesentlichen durch den teuren Rohstoff Nickel verursacht wird, blieb das Anwendungsspektrum klein. In den letzten Jahren ist das System als Fahrzeugbatterie wegen der im Vergleich zum Bleiakku zweimal höheren theoretischen Energiedichte erfolgreich weiterentwickelt worden. Inzwischen ist auch die praktische Energiedichte soweit verbessert worden, daß sie diejenige des Bleiakkus deutlich übersteigt. Auch Fahrversuche mit Nickel-Eisen-Batterien führten erwartungsgemäß zu einer deutlich höheren Reichweite als bei der Verwendung von Blei-Batterien. Trotz des höheren Preises wäre wegen der größeren Lebensdauer eine mit der Blei-Batterie vergleichbare Wirtschaftlichkeit zu erwarten.

Natrium-Schwefel-Batterie

Die Natrium-Schwefel-Batterie besteht aus

- den zu einer mechanischen Einheit zusammengefügten Zellen,
- einer die Zellen umschließenden Wärmedämmung zur Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur von 300 bis 350 °C,
- dem Heiz- und Kühlsystem zur Herstellung der Betriebstemperatur, zur Abfuhr der Verlustwärme während des Betriebes und zur Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur in den Belastungsphasen.

Die derzeit an den Zellen vorgenommenen Verbesserungen betreffen u. a. die Erhöhung der Leitfähigkeit des Elektrolyten durch Optimierung der Zusammensetzung, die Erhöhung der Wiederaufladbarkeit und Leitfähigkeit der Schwefelelektrode und den Übergang von einem Zellgehäuse aus Stahl zu einem solchen aus Aluminium.

Voll optimierte Natrium-Schwefel-Batterien können mehr als 24 Stunden ohne zu heizen im Betriebstemperaturbereich von 300 bis 350 °C gehalten werden. Zur Aufrechterhaltung von 300 °C reichen 10 % der Batterieenergie pro Tag. Natrium-Schwefel-Traktionsbatterien werden am Ende der Entwicklung eine etwa dreimal höhere Energiedichte und eine höhere Leistungsdichte als volloptimierte Bleibatterien besitzen. Ziele der Weiterentwicklung sind auch die Erhöhung der Zuverlässigkeit der Zellen und damit der Batterielebensdauer sowie die Erniedrigung der Herstellungskosten; hierbei werden Fortschritte durch eine weitere Verbesserung der Herstellverfahren erwartet.

Nickel-Kadmium-Batterie

Für Hochleistungsanwendungen kommen die klassischen, geschlossenen Elektrobauarten, wie Taschen- oder Röhrchenplatte, praktisch nicht in Frage. Hierfür sind Gußoberflächenelektroden wesentlich besser geeignet. Am bekanntesten ist zweifellos die Sinterelektrode, die neuerdings durch die Faserstrukturelektrode und Kunststoffverbundelektrode ergänzt wird. Mit den letztgenannten Entwicklungen ist es nunmehr möglich, die hervorragenden Leistungsdichte- und Energiedichtewerte des Nickel-Eisen-Systems zu erreichen. Dabei werden — und darin liegt die eigentliche Bedeutung dieser Entwicklung — die Hauptnachteile des Nickel-Eisen-Systems weitgehend vermieden. Diese sind:

- Schlechter Lade-/Entladewirkungsgrad,
- starke Wärmeentwicklung,
- hoher Wasserverbrauch.

Neben hoher Energiedichte und Leistungsdichte kann als weitere günstige Eigenschaft die schnelle Wiederaufladbarkeit (Hochstromladefähigkeit) gesehen werden. Bei Zellentemperaturen oberhalb ca. 40 °C ist eine Ladung jedoch nur noch sehr eingeschränkt möglich. Da bei typischen Elektrostraßenfahrzeuganwendungen dieser Punkt schnell erreicht ist, ist ein regelmäßiger Betrieb ohne nennenswerte Abkühlpausen und ohne wirksame Kühlung nicht möglich. Bedingt durch die hohen Kosten der Ausgangsmaterialien ist das Nickel-Kadmium-System vergleichsweise sehr teuer.

2 Umwelt

2.1 Ausgangssituation

Mineralöl wird weiterhin als Hauptprimärenergieträger eingesetzt, sein Anteil ist allerdings mit stark rückläufiger Tendenz bereits unter 50 % Anteil gesunken.

Der Einsatz von Steinkohle ist im Zehn-Jahres-Zeitraum 1977 bis 1987 um ca. 11 % gestiegen, bei Braunkohle um 12 % gesunken. Die stärkste Steigerung ist bei der Kernenergie zu verzeichnen, die von ca. 3 % Anteil auf über 11 % angestiegen ist. Laut einer Prognose der ESSO AG wird der Primärenergieverbrauch insgesamt bis zum Jahre 2010 nur geringfügig steigen. Hauptprimärenergieträger bleibt weiterhin das Öl, allerdings mit weiterhin sinkendem Anteil. Zuwächse werden hingegen bei Kohle und bei der Kernenergie erwartet.

Der Endenergieverbrauch an Kraftstoffen ist im Zehn-Jahres-Zeitraum von 1977 bis 1987 um ca. ¼ angestiegen. Dies ist sowohl auf gestiegenen Verbrauch im Verkehrsbereich als auch auf Heizölsubstitution zurückzuführen. Der Endenergieverbrauch von Strom stieg um ca. 25 %, während der Kohleverbrauch um ca. 11 % sank. Insgesamt hat der Endenergieverbrauch durch Verkehr zwischen 1977 und 1987 um 24,4 % zugenommen; die Hauptenergieart ist dabei mit einem Anteil von ca. 60 % Motorbenzin gefolgt vom Dieselbenzin (33 %). Die Aufteilung aus dem Jahre 1985 nach Verkehrsarten (vgl. Abbildung 2) macht deutlich, daß 100 % des Motorbenzins und ca. 91 % des Dieselkraftstoffes im Straßenverkehr verbraucht werden. Insgesamt verursacht der Straßenverkehr somit 87,5 % des gesamten ständigen Energieverbrauchs im Verkehrsbereich.

Der Einsatz der Energieträger zur Stromerzeugung ist zwischen 1977 und 1987 insgesamt um ca. 23 % angestiegen; dabei waren die Hauptenergieträger in 1987 Steinkohle und Kernenergie mit gleichen Anteilen von je rund 32 %.

Als wirkungsvollste Maßnahme im Verkehrsbereich zur Reduzierung der Umweltbeeinträchtigung durch Verkehrsemissionen ist die Einführung des Dreiwegekatalysators anzusehen. Aufgrund der Langwierigkeit der Umsetzung umweltbezogener EG-einheitlicher Richtlinien und deren Durchsetzbarkeit — diese politischen Regelungen sind nicht nur an den Bedürfnissen der Umwelt orientiert — wurden in der Bundesrepublik Deutschland zusätzliche Maßnahmen zur Förderung schadstoffarmer Fahrzeuge realisiert. Eine Einstufung der Pkw nach Hubraumklassen, Schadstoffstufen und Anerkennungszeiträumen zeigt die Tabelle 10.

Der Kraftfahrzeugbestand stieg zwischen 1977 und 1987 um 39 % an. Mit 86 % stellten Pkw bzw. Kombifahrzeuge auch 1987 den Hauptanteil der Kraftfahrzeuge. Gleichzeitig ist die Entwicklung des Pkw-Bestandes gekennzeichnet durch einen Trend zu höheren Hubraumklassen. Die steuerliche Förderung hat zu einem Anstieg des Zulassungsanteils der schadstoffarmen Fahrzeuge geführt (Abbildung 3).

Die Gesamtfahrleistung aller Kraftfahrzeuge ist zwischen 1977 und 1987 um ca. 33 % gestiegen.

Bezüglich der Schadstoffbelastung konnte nur auf Daten für 1986 zurückgegriffen werden. Als Bezugsjahr für die Darstellung der Entwicklung wurde 1976 gewählt. Aufgrund ihrer mengenmäßigen Bedeutung und ihrer Auswirkung werden folgende Schadstoffe berücksichtigt:

- Kohlenmonoxid CO,
- Stickoxid NO_x als NO_2,
- Schwefeldioxid SO_2,
- Organische Verbindungen und
- Staub.

Die Gesamtbelastung durch Kohlenmonoxid ist im Zeitraum zwischen 1976 und 1986 um rund ⅓ zurückgegangen. Dies ist hauptsächlich auf die Reduzierung im Straßenverkehr zurückzuführen, trotz gleichzeitiger Ausweitung des Pkw-Verkehrs. Der Kraftwerksausstoß verblieb weiterhin stets unter 1 % des Gesamtausstoßes. Auch bei der Industrie und den Haushalten hat sich im gleichen Zeitraum der Ausstoß an Kohlenmonoxid vermindert; der Anteil dieser beiden Emittenten zusammen lag 1986 bei ca. 12 % (Abbildung 4).

Bei Stickoxiden ist als einziger der betrachteten Schadstoffe zwischen 1976 und 1986 ein Anstieg zu verzeichnen. Hauptemittent ist auch hier der Straßenverkehr. Für den Anstieg der Stickoxidemissionen des Straßenverkehrs sind dabei neben der Zunahme der Gesamtfahrleistung und dem Trend zu leistungsstärkeren Fahrzeugen sowie der steigenden Fahrgeschwindigkeit vor allem motorische Maßnahmen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs und des CO-Ausstoßes bei den Fahrzeugen maßgebend (Abbildung 5).

Der Schwefeldioxidausstoß ist zwischen 1976 und 1986 insgesamt um rund ⅓ gesunken. Die Emissionen des gesamten Verkehrs liegen anteilmäßig unter 5 % und sind ebenfalls gesunken. Hauptemittent sind weiterhin Kraftwerke, deren Anteil am Gesamtausstoß von ca. 55 % auf ca. 63 % angestiegen ist (Abbildung 6).

Die Gesamtbelastung durch bisher erfaßte organische Verbindungen ist im betrachteten Zeitraum geringfügig zurückgegangen: Während der Ausstoß im Straßenverkehr um ca. 7 % anstieg, ist die Emission der übrigen Emittenten durchweg gesunken. Der Anteil der Kraftwerke, der Industrie und der Haushalte zusammen liegt bei den bisher erfaßten organischen Verbindungen unter 5 % (Abbildung 7).

Die Belastung durch Staub hat zwischen 1976 und 1986 ebenfalls deutlich abgenommen. Die Belastung durch Straßenverkehr ist zwar um 54 % angestiegen, der Anteil der Kraftwerksanlagen betrug 1986 jedoch nur noch 15 %, da der Ausstoß im betrachteten Zeitraum um die Hälfte reduziert werden konnte. Ebenfalls reduziert wurde der Staubausstoß bei Industrieanlagen und den Haushalten (Abbildung 8).

Bezogen auf das Jahr 1986 ergeben sich Schwergewichte der Belastung durch den Verkehr bzw. speziell den Straßenverkehr bei CO, NO_2 und Organischen Verbindungen. Demgegenüber stehen Schwergewichte durch Kraftwerksanlagen bei SO_2 und in gewissem Umfang auch bei Staubemission.

Die Emissionen durch Kraftwerksanlagen erfolgen ortsfest am Standort. Entsprechende Emissionen des Verkehrs werden hauptsächlich durch den Straßenverkehr verursacht, somit unterliegt der Ort des Aus-

stoßes Veränderungen. Aufgrund der Standortnähe von Kraftwerksanlagen zu den Industrieanlagen und des Verkehrsaufkommens in den Ballungsräumen ergibt sich somit eine eindeutig überproportionale Belastung der großen Wirtschaftszentren.

2.2 Fahrzeugvergleiche

Der Netzenergiebedarf für Elektrofahrzeuge zur Erbringung einer bestimmten Fahrleistung unterliegt je nach Betriebsart, Nutzungsart, Fahrverhalten, Energieausnutzung usw. erheblichen Schwankungen. Aufgrund der bestehenden Anwendungserfahrungen kann folgender mittlerer Energieverbrauch pro 100 Fzgkm angesetzt werden:

- Pkw 35 kWh
- Transporter 52 kWh
- Bus 267 kWh.

Untersuchungen über den Schadstoffausstoß pro erzeugter kWh weisen z. T. erhebliche Unterschiede auf. Dies ist sowohl auf unterschiedliche Berechnungsmethodiken als auch Ausgangsannahmen zurückzuführen. Als Faktoren sind dabei vor allem die Annahmen zum Grad der Emissionsminderung bei den einzelnen Kraftwerken und zum Anteil der einzelnen Kraftwerksarten einer Batterieladung zu nennen. Aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen werden daher vom Umweltbundesamt für den Schadstoffausstoß für Elektro-Pkw und Benzin-Pkw (mit Lamda-Regelung und Drei-Wege-Katalysator) die in der Abbildung 9 genannten Daten angegeben, dem folgende Betrachtungsweise, die von mehreren Stromversorgungsunternehmen getragen wird, gegenübergestellt wird (Abbildung 10).

Insgesamt ergibt sich unabhängig von der jeweils angesetzten Methodik ein Vorteil des Elektrofahrzeuges bei CO und HC sowie ein Vorteil des konventionellen Fahrzeuges bei SO_2. Die Ausprägungen der jeweiligen Vorteile sind allerdings je nach Methode recht unterschiedlich.

Die Schadstofffreiheit am Einsatzort prädestiniert das Elektro-Fahrzeug unter Berücksichtigung der technischen Leistungsparameter bestehender Fahrzeuge (z. B. Reichweite) zunächst für den Einsatz in stark schadstoffbelasteten Zonen wie z. B. im Kernbereich großer Städte oder in Zonen, in denen besonders hohe Luftqualität gewünscht wird, wie z. B. in Kurorten. Darüber hinaus bietet das Elektro-Fahrzeug bei einer breiten Einführung die Möglichkeit, bei einer Reihe von Luftschadstoffen die Belastung durch den Verkehrssektor abzusenken.

Sowohl beim Transporter als auch beim Pkw zeigt sich ein eindeutiger Vorteil des Elektrofahrzeugs durch die absolute Geräuschfreiheit im Leerlauf; wegen der notwendigen Hilfsaggregate gilt das für den Elektro-Bus nicht uneingeschränkt. Die Geräuscharmut im Leerlauf wirkt sich vor allem im Stadtverkehr mit ständigem Stop-and-Go-Betrieb positiv aus.

3 Wirtschaftlichkeit

Da bestimmte Kriterien, z. B. die Reichweite, entweder den Einsatz von Elektro-Fahrzeugen ausschließen oder das Fahrzeug für einige Verwendungszwecke ungeeignet ist, reduziert sich die individuelle Kosten-Nutzen-Entscheidung hauptsächlich auf einen Kostenvergleich. Dieser Kostenvergleich wird für einen Pkw, einen Transporter (Nutzlast 1 t) und einen Standard-Linienbus durchgeführt. Die genannten Preis- und Kostenangaben enthalten, sofern nichts anderes angegeben, keine Mehrwertsteuer und entsprechen dem Stand vom 31. Dezember 1987. Die Kosten wurden annuitätisch berechnet bei einem kalkulatorischen Zinssatz von 8% p. a.

3.1 Rahmenbedingungen

Seit dem letzten Bericht (Preisstand vom 1. Oktober 1985) sanken die Preise sowohl für Benzin als auch für Dieselkraftstoffe in erheblichem Maße. In diesem Bericht werden mit dem Stichtag 31. Dezember 1987 folgende Preise als Kalkulationsbasis für die Kostenermittlung und -vergleiche herangezogen:

- unverbleiter Normalkraftstoff
  0,839 DM/l (0,736 DM/l o. MWSt)
- Dieselkraftstoff
  0,829 DM/l (0,727 DM/l o. MWSt).

Im Gegensatz zu den gesunkenen Kraftstoffpreisen stieg der Strompreisindex im gleichen Zeitraum um 4,4%. Die Ermittlung der konkreten Stromkosten basiert auf der Auswertung von Tarifstrukturen bei bundesdeutschen Energieversorgungsunternehmen aus dem Jahre 1985. Die dabei festgestellten Preise wurden für das Jahr 1987 hochgerechnet, woraus sich folgende Strompreise ableiten:

- Pkw in Privathaushalten 18,2 Pf je kWh
- Pkw in Unternehmen 23,1 Pf je kWh
- Transporter in Kleinunternehmen 19,8 Pf je kWh
- Linienbus 22,2 Pf je kWh.

Je nach Halter sind zu diesen Preisen 14% Mehrwertsteuer hinzuzurechnen.

3.2 Investition

Für die Ermittlung der derzeitigen Fahrzeugpreise wurden soweit möglich entsprechende Herstellerangaben bzw. ADAC- und DEKRA-Statistiken verwendet. Bestanden diese Quellen nicht, so wurden Preisansätze der vorhergehenden Fortschreibung entsprechend den Steigerungsraten der amtlichen Statistik für 1988 hochgerechnet.

Somit ergeben sich aufgrund der *derzeitigen Produktionsmengen* folgende Fahrzeugpreise:

	konventionelles Fahrzeug	Elektrofahrzeug
Pkw	15 000,00 DM	70 000,00 DM
Transporter ..	24 000,00 DM	116 000,00 DM
Bus	415 000,00 DM	730 000,00 DM[1])

[1]) geschätzter Preisansatz aufgrund einer Hochrechnung früherer Einzelfertigungspreise für die elektrotechnischen Komponenten anhand des statistisch ausgewiesenen Preisanstieges sowie unter Berücksichtigung aktueller Preisansätze für Duobusse bzw. O-Busse

Für den Elektro-Pkw und den Elektro-Transporter wurden ausgehend vom derzeitigen Einzelproduktionspreis durch die Industrie folgende Preisansätze bei einer Kleinserienfertigung errechnet (ohne Batterie):

Stückzahl	Elektro-Pkw	Elektro-Transporter
50	—	69 000,00 DM
1 000	47 000,00 DM	48 000,00 DM
5 000	31 000,00 DM	—
10 000	27 000,00 DM	37 000,00 DM
50 000	18 000,00 DM	—
100 000	15 000,00 DM	—

Zusätzlich zu diesen reinen Fahrzeugeinheiten treten bei Elektrofahrzeugen noch Investitionen für die Batterieeinheiten und deren Peripherie auf. Zur Ermittlung der Preisansätze bei unterschiedlicher Stückzahl wurden die gleichen Jahresproduktionen wie bei den Fahrzeugen angesetzt.

Stückzahl	PKW-Batterien		Transporter-Batterien	
	Blei-Säure DM	NAS DM	Blei-Säure DM	NAS DM
50			19 620	40 000
1 000	9 069	13 000	15 042	31 500
5 000	8 314	9 000		
10 000	7 709	8 000	13 898	17 500
50 000	4 534	5 000		
100 000	4 534	4 500		

Zum derzeitigen Stand liegt der Preis eines Elektro-Pkw um ca. 460% über dem eines konventionellen Pkws; bei einer realisierten Produktionsmenge von 100 000 Elektro-Fahrzeugen könnte der Preis für einen Elektro-Pkw (ohne Batterie) allerdings gleichziehen, so daß lediglich die Mehrkosten für die Batterien verbleiben (vgl. Abbildung 11). Der derzeitige Kaufpreis eines Elektro-Transporters liegt um mehr als 480% über dem eines vergleichbaren konventionellen Transporters. Auch hier könnte bei einer angenommenen Jahresproduktion von ca. 10 000 Transportern und Einsatz von Blei-Säure-Batterien diese Relation auf rund 210% reduziert werden (Abbildung 12).

Aufgrund der unzureichenden Preisansätze für Elektro-Linienbusse kann ein aussagefähiger Kostenvergleich nur bedingt durchgeführt werden. Unter den derzeit relevanten Kostenabschätzungen liegt die Investition für einen Elektro-Bus um ca. 76% über dem eines vergleichbaren konventionellen Standard-Linienbusses. Eine nennenswerte Kostendegression kann aufgrund geringer Stückzahlen bei Bussen nicht erwartet werden.

3.3 Betriebskosten

Die Kraftfahrzeugsteuer für Personenkraftwagen wird nach Maßgabe des Hubraumes bemessen. Die umgerechnet auf einen Betrachtungszeitraum von 8 Jahren jährlich zu entrichtende Kraftfahrzeugsteuer wurde als Barwertannuität mit einer jährlichen Verzinsung von 8% berechnet. Daraus ergibt sich für den konventionell angetriebenen Pkw mit Katalysator ein jährlicher Betrag von 183,23 DM. Aufgrund der längeren Steuerbefreiung und der 50%igen Ermäßigung beträgt die jährliche Steuerbelastung für Elektro-Pkw 81,45 DM. Die Kraftfahrzeugsteuersätze für den Transporter (Diesel) betragen 290 DM bzw. 181 DM (Elektro, § 3 Kfz-Steuergesetz). Kraftomnibusse sind laut § 3 Abs. 6 Kfz-Steuergesetz dann von der Steuerentrichtung ausgenommen, wenn das Fahrzeug zu mehr als 50% im Linienverkehr eingesetzt wird, wovon in diesem Fall ausgegangen wird.

	konventionell angetrieben	elektrisch angetrieben
VW Golf	183,23 DM	81,45 DM
Transporter ..	290,00 DM	181,00 DM
Standard Linienbus	0,00 DM	0,00 DM
Kraftfahrzeugsteuer in DM p. a.		

Bei der Ermittlung der Kfz-Haftpflichtversicherungsprämie wurde von der Schadensfreiheitsklasse 0 (entspricht 100% in der Regionalklasse 3) bei unbegrenzter Deckung ausgegangen. Da lediglich ca. 30% aller Kfz-Versicherungen zu Sondertarifen (B-Tarif) abgeschlossen werden, wurden hier die allgemeinen Normaltarife verwendet.

Die Kosten der Kfz-Versicherung für den Pkw belaufen sich beim Elektro-Fahrzeug auf 818 DM pro Jahr und für den konventionell angetriebenen Golf auf 949,20 DM pro Jahr. Da der Versicherungsbeitrag bei

	konventionell angetrieben	elektrisch angetrieben
VW Golf	1 616,00 DM	1 484,80 DM
Transporter ..	1 632,00 DM	1 632,00 DM
Standard Linienbus	8 587,00 DM	8 587,00 DM
Kfz-Haftpflicht- und Kfz-Vollkaskoversicherung in DM p. a.		

Transportern von der Nutzlast bestimmt wird, ist die Höhe des Beitrags antriebsunabhängig und beläuft sich bei beiden Fahrzeugarten auf jährlich 1 151 DM. Die Haftpflichtprämie für Linienbusse orientiert sich an der Anzahl der Sitz- bzw. Stehplätze. Da die Anzahl der verfügbaren Plätze in beiden vergleichbaren Fahrzeugen identisch ist, beläuft sich die jährliche Haftpflichtprämie für beide Busse auf jährlich 4 357 DM. Zur Ermittlung der Kfz-Vollkaskoversicherung wurde bei Personenkraftwagen von einer Selbstbeteiligung in Höhe von 650 DM pro Jahr unter Zugrundelegung der Regionalklasse 3 ausgegangen. Da einerseits die zu erwartenden Reparaturkosten eines Unfalles allein aufgrund des höheren Wertes, den ein batteriebetriebenes Fahrzeug darstellt, relativ hoch sein werden, andererseits sich die Unfallhäufigkeit und -schwere auf relativ niedrigem Niveau befindet, wurde auf eine Unterscheidung nach Güteklassen verzichtet. Die Kosten bei beiden Personenkraftwagen sind gleich; in bezug auf die unterschiedliche Berechnung gilt auch für den Transporter wie für den Standard-Linienbus dasselbe, so daß auch hier die jährlich anfallenden Prämien gleich sind.

Unter Berücksichtigung der ermittelten Energiekosten je Liter Kraftstoff bzw. je kWh sowie der vorgegebenen Verbrauchswerte pro 100 Kilometer ergeben sich folgende Kilometerkosten (in Pfennigen):

	VW Golf (privat) [Pfg/km]	VW Golf (Unternehmen) [Pfg/km]	VW Transporter (Unternehmen) [Pfg/km]	Standard Linienbus (mit Vorsteuerabzug) [Pfg/km]	Standard Linienbus (ohne Vorsteuerabzug) [Pfg/km]
konventionell angetrieben	6,6	5,8	6,7	22,2	25,3
elektrisch angetrieben	7,1	7,9	11,1	59,3	67,6

Die Wartungskosten für die einzelnen Fahrzeugtypen je Kilometer wurden vorliegenden Berichten entnommen und führen zu den in der Tabelle angegebenen Kosten.

	VW Golf (privat) [Pfg/km]	VW Golf (Unternehmen) [Pfg/km]	VW Transporter (Unternehmen) [Pfg/km]	Standard Linienbus (mit Vorsteuerabzug) [Pfg/km]	Standard Linienbus (ohne Vorsteuerabzug) [Pfg/km]
konventionell angetrieben	8,7	7,6	6,9	85,5	97,5
elektrisch angetrieben	5,4	4,7	4,2	66,0	75,2

Der Kostenvergleich zwischen konventionell und elektrisch angetriebenen Fahrzeugen wurde für alle drei Kraftfahrzeugtypen durchgeführt. Sowohl für Pkw als auch Transporter wird von einer jährlichen Kilometerleistung von 8 000 Kilometern ausgegangen, und es wurde eine Vergleichsrechnung für Fahrzeuge mit Blei-Säure-Batterie sowie mit Natrium-Schwefel-Batterie durchgeführt.

Beim Bus wurde eine Jahresfahrleistung von 60 000 Kilometern zugrunde gelegt. Eine Unterscheidung nach jährlichen Produktionszahlen erfolgt nicht, da nicht von entsprechend hohen Stückzahlen ausgegangen wird und damit eine deutliche Kostendegression nicht erwartet werden kann.

Alle Berechnungen erfolgten unter der Voraussetzung der Vorsteuerabzugsfähigkeit; beim Fahrzeugeinsatz im privaten Bereich wäre demzufolge ein entsprechender steuerlicher Aufschlag zu berücksichtigen. Die Betriebskosten der Elektrofahrzeuge und der konventionellen Fahrzeuge sind für den Personenkraftwagen, den Transporter und den Bus den Abbildungen 13 und 14 sowie den Tabellen 11, 12 und 13 zu entnehmen. Diese Betrachtungen zwischen Elektro-Fahrzeugen und konventionellen Fahrzeugen für die Betriebs- und Unterhaltungskosten enthalten ausnahmslos keine Fahrpersonalkosten, da nur unter wenigen Einsatzbedingungen der Kostenfaktor Personal eindeutig betriebswirtschaftlich einem Fahrzeug oder einer Fahrzeugleistung zugeordnet werden kann wie z. B. im Linienbetrieb des Öffentlichen Personennahverkehrs.

4 Entwicklungsperspektiven und Empfehlungen

Die energiewirtschaftliche Ausgangssituation ergibt nach wie vor ein widersprüchliches Bild: Die Ölpreiserhöhungen der siebziger Jahre haben Wirtschaft und Endverbraucher veranlaßt, sich auf Energieverteuerungen und -verknappungen einzustellen. Es herrscht wie bei anderen Energieträgern aber auch beim Öl ein Überangebot, was das Energiesparen vermeidlich erscheinen läßt und dann preiswirksam wäre. Diese Marktsituation wird sich voraussichtlich bis in die neunziger Jahre hinein nicht verändern.

Aus umweltpolitischer Sicht besteht der Hauptvorteil der Elektro-Fahrzeuge in der Vermeidung von Emissionen im Straßenraum. Die Schadstoffemissionen der batteriebetriebenen Elektro-Fahrzeuge entstehen ausschließlich in Kraftwerken, soweit die Kraftwerke mit fossilen Energieträgern betrieben werden: Im Vergleich zum Katalysator-Pkw sind einem batteriebetriebenen Elektro-Pkw geringere CO-, NO_x- und HC-Emissionen zuzurechnen. Dagegen haben Elektro-Pkw bei der Energieversorgung aus Verbrennungs-Kraftwerken höhere SO_2- und Staubemissionen zur Folge. Die den Elektro-Fahrzeugen zurechenbaren Emissionen entstehen im allgemeinen außerhalb der Innenstädte.

Die vorliegenden Erfahrungen mit dem Einsatz von Elektro-Fahrzeugen im praktischen Betrieb sind in Abhängigkeit von den Einsatzzwecken und den Betreibern sehr unterschiedlich. Als Schwachstelle des batteriebetriebenen Elektro-Straßenfahrzeuges ist nach wie vor die Batterie zu nennen. Entsprechend dem gegenwärtigen Kenntnisstand sind für den Einsatz von Elektro-Fahrzeugen im wesentlichen die nachfolgenden Energiespeicher von Bedeutung:

— Blei-Säure-Batterie,

— Natrium-Schwefel-Batterie sowie

— Nickel-Kadmium-Batterie.

Die Entwicklungsziele hinsichtlich Reichweite, Lebensdauer und Anschaffungskosten konnten bisher für keines der genannten Batteriesysteme erreicht werden.

Zur Energieversorgung der Elektrofahrzeuge können die vorhandenen Kraftwerkskapazitäten herangezogen werden, da der Mehrbedarf die installierten Reserven nicht übersteigt. Eine gute Anpassung an die zur Verfügung stehende Energiemenge ließe sich durch eine zeitabhängige Regelung des Ladestroms der Batterie erreichen. Zur Versorgung der Elektro-Fahrzeuge müßte die vorhandene Infrastruktur örtlich ergänzt bzw. neu geschaffen werden.

Die Kostenvergleichsrechnung von Batterie- und Verbrennungsmotor-Fahrzeugen ergab bei dem gegenwärtigen Preisgefüge erhebliche Kostenvorteile für Verbrennungsmotor-Fahrzeuge. Pkw mit Blei-Säure-Batterien sind selbst bei einer Produktionsstückzahl von 100 000 Fahrzeugen von einem Hersteller in den Gesamtkosten (Anschaffung und Betrieb) teurer als ein Pkw mit Verbrennungsmotor.

Die vorliegende Untersuchung ergab für Elektrofahrzeuge nur geringe Marktchancen. Sowohl private Unternehmen als auch Betriebe der öffentlichen Hand würden für bestimmte Einsatzzwecke zwar höhere Preise der Elektro-Fahrzeuge akzeptieren; für ein ausreichendes Marktvolumen dürften die Unterschiede der Gesamtkosten nach bisherigen Erkenntnissen allerdings 10 % bis 15 % nicht überschreiten. Da Kostenrechnungen ergeben haben, daß ein Elektro-Fahrzeug auch bei Großserienfertigung teurer als das vergleichbare Fahrzeug mit Verbrennungsmotor ist, liegt folgende Situation vor: Der Verbraucher/Anwender müßte für ein Elektro-Fahrzeug, welches nach heutigen Wertmaßstäben weniger leistet als ein konventionelles Auto, erheblich mehr Geld ausgeben. Unter diesen Umständen kann sich kein Markt für Elektro-Fahrzeuge entwickeln. Einsatzchancen für Elektrofahrzeuge sind dann zu erkennen, wenn die ordnungspolitischen Rahmenbedingungen geändert werden (z. B. Sperrung von Stadtzentren für Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor o. ä.).

Zusammenfassend zeigen sich hinsichtlich der Randbedingungen des Einsatzes von Elektrofahrzeugen Veränderungen: Die Entwicklung von batteriebetriebenen Elektro-Straßenfahrzeugen ist fahrzeug- und antriebsseitig noch nicht abgeschlossen. Neben der Konzentration der Forschung auf die Natrium-Schwefel-Batterie sollten auch andere Batterie-Systeme stärker berücksichtigt werden, das betrifft vor allem die für Testzwecke zur Verfügung stehende Nickel-Kadmium-Batterie. Auch in der Bustechnologie sollten die vorhandenen Entwicklungslinien weiterverfolgt werden. Hier ist vor allem die Integration neuer Batteriesysteme in das Fahrzeug- und Batteriekonzept für eine Realisierung im innerstädtischen Nahverkehr anzustreben.

Es liegt im öffentlichen Interesse, daß das Know-how für Elektroantrieb zum einen nicht verlorengeht und zum anderen der ständigen Weiterentwicklung der Technik unterworfen wird. Insbesondere unter Umweltgesichtspunkten (z. B. lokale Emissionsentlastung) sind eine Weiterentwicklung und weitere Einsatzerprobung von Elektro-Fahrzeugen sinnvoll und notwendig. Da sich für Elektro-Fahrzeuge kein eigener Markt bilden wird, besteht nur die Möglichkeit, Elektro-Fahrzeuge mittels öffentlicher Förderung weiterzuentwickeln und zu erproben, um bei geänderten ordnungspolitischen Rahmenbedingungen die Fahrzeuge mit alternativen Antriebssystemen in großem Umfang einsatzbereit zu halten.

In Anbetracht des in allen Bereichen der Technik festzustellenden raschen Wandels und eines daher nicht auszuschließenden Durchbruchs im Bereich der Energiespeichersysteme sollte eine ständige Beobachtung des technischen Fortschritts bei den Elektrofahrzeugen vorgesehen werden — z. B. in Form einer weiteren Fortschreibung dieses Berichtes.

Tabelle 1

Technische Daten des VW-Golf-Elektrofahrzeuges

Marke/Fahrzeugtyp:	VW/Golf	Verkaufspreis ca. 50 000,— DM (bisher nicht lieferbar)
Antriebsaggregat: — Leistung (Dauer/max.):	BBC 12/23 KW	
Antriebsteuerung: Energiespeicher (Marke/Typ): — System: — Spannung: — Kapazität: — Gewicht: — Energiedichte (1h): — Leistungsdichte: — Lebensdauer/Zyklenzahl	BBC Sonnenschein (Gel) 6 Volt Block/Gitterplatten 96 V 160 Ah 500 kg 25 Wh/kg 25 W/kg bzw. 60 W/dm³ 500—700 Zyklen (theor.)	 Verkaufspreis ca. 7 500,— DM
Ladegerät:	BBC	Verkaufspreis integriert in Regelung DM
Bremssystem: Nebenaggregate: Zulässiges Gesamtgewicht: Nutzlast: Höchstgeschwindigkeit: Beschleunigung: Reichweite: Energiebedarf/100 Fzgkm: Anzahl produzierte Fahrzeugeinheiten: — davon z. Z. im Betriebs-Einsatz:	hydr. 4 Rad/elektrisch nur VA DC-DC-Wandler (in Regelung integriert) und Benzin Standheizung kg 1 670 kg 280 km/h 100 (0—50 km/h) s 15 sec. km 50—70 kWh 30 2 2	
Betriebserfahrungen:	Es handelt sich mit Ausnahme der Batterie um weitgehend ausgereifte Technik. Für die Standheizung müssen erfahrungsgemäß 0,7 l Benzin/100 km (Jahresmittel) gerechnet werden.	
Zusätzliche Bemerkungen: Die Fahrzeuge sollten wie üblich 1× jährlich zur allgemeinen Durchsicht in die Werkstatt, wobei weder Schmierstoffe und Dichtungsmaterial noch eine ASU erforderlich ist. Die Batterie ist völlig wartungsfrei. Jedoch sollte zur Früherkennung von Batterie und Ladungsfehlern jährlich eine Kapazitätsprobe mit anschl. Ladungsmessung durchgeführt werden. Somit sind die Unterhaltungskosten nicht höher als bei konventionellen Pkw. Bei Einsatz moderner Meßgeräte sogar niedriger (Batterieeinsatz ausgenommen).		

Tabelle 2

Technische Daten des VW-Jetta CitySTROMer

Marke/Fahrzeugtyp:	VW-Jetta	Verkaufspreis / DM (bisher nicht lieferbar)
Antriebsaggregat: — Leistung (Dauer/max.):	Gleichstrom-Nebenschluß-Motor 15/18 KW	
Antriebsteuerung: Energiespeicher (Marke/Typ): — System: — Spannung: — Kapazität: — Gewicht: — Energiedichte (1h): — Leistungsdichte: — Lebensdauer/Zyklenzahl noch nicht bekannt	Microprozessor-gesteuerte Antriebssteuerung ABB/B_{II} Na/S 120 V 200 Ah 276 kg 76 Wh/kg 38 W/kg bzw. 42 W/dm^3	 Verkaufspreis / DM
Ladegerät:	Hochfrequenzladegerät	Verkaufspreis / DM
Bremssystem: Nebenaggregate: Zulässiges Gesamtgewicht: Nutzlast: Höchstgeschwindigkeit: Beschleunigung: Reichweite: Energiebedarf/100 Fzgkm: Anzahl produzierte Fahrzeugeinheiten: — davon z. Z. im Betriebs-Einsatz:	Diagonal-Zweikreis-Bremssystem Scheibenbremsen vorn und hinten Standheizung kg 1 530 kg 330 km/h 105 (0—50 km/h)s 12 km 120 kWh 30 12 2	
Betriebserfahrungen:	Über weite Fahrbereiche sehr stabile Spannungslage der Batterie. Keinerlei Wartung der Batterie.	

Tabelle 3

Technische Daten Elektrotransporter der ersten Generation

Fahrzeuge Fahrzeugtyp	VW Typ II	MB LE 306
Zulässiges Gesamtgewicht	3,075 t	4,4 t
Batteriegewicht	850 kg	1 100 kg
Batteriegewicht/Leergewicht	39 %	38 %
Nutzlast	800 kg	1 450 kg
Spitzengeschwindigkeit	70 km/h	70 km/h
Beschleunigung 0—50 km/h	14 sec	14 sec
Reichweite	60 km	50 km
Antrieb		
Leistung Nenn/1h/max	17/24/33,5 kW	30/40/56 kW
max. Leistung/Leergewicht	15,2 kW/t	19,5 kW/t
max. Leistung/zulässiges Gesamtgewicht	10,9 kW/t	12,7 kW/t
max. Strom	320 A	350 A
max. Drehzahl	6 700 min^{-1}	6 100 min^{-1}
Batterie		
Zellen	verschiedene Hersteller	
Batteriespannung	144 V	180 V
Nennkapazität	150 Ah	150 Ah
Betriebsenergie	15 kWh	19 kWh
Betriebsenergiedichte	17,6 kW/kg	17,3 kW/kg
Betriebsdaten		
Systemverfügbarkeit	1 Fehler/10 000 km	
Fahrzeuglebensdauer	ca. zehn Jahre, 80 000 km	
Antriebslebensdauer	zehn Jahre, 80 000 km	
Batterielebensdauer	ca. 30 000 bis 50 000 km	
Mittlerer Netzenergiebedarf	0,52 kWh/km	0,59 kWh/km
Mittlerer Nutzbremsgrad	9,8 %	12,6 %
Mittlerer Strommengenbedarf aus der Batterie	2,1 Ah/km	2,27 Ah/km

Tabelle 4

Technische Daten des DB/307 E (Transporter)

Marke/Fahrzeugtyp:	DB/307 E	Verkaufspreis / DM
Antriebsaggregat: – Leistung (Dauer/max.):	fremderregter Gleichstrom – Nebenschlußmotor 30/43 KW	
Antriebsteuerung: Energiespeicher (Marke/Typ): — System: — Spannung: — Kapazität: — Gewicht: — Energiedichte (5h): — Leistungsdichte: — Lebensdauer/Zyklenzahl	Impulssteuerung mit Anker- und Feldstromsteller 4 PzS 172 H Blei-Säure-Batterie 180 V 172 Ah 1 000 kg 31 Wh/kg 1/3h 35 W/kg bzw. 103 W/dm³ erwartet ca. 600 Zyklen	 Verkaufspreis ca. 20 000 DM
Ladegerät:	220-V-Bordladegerät und externes 180-V-Ladegerät	 Verkaufspreis / DM
Bremssystem: Nebenaggregate: Zulässiges Gesamtgewicht: Nutzlast: Höchstgeschwindigkeit: Beschleunigung: Reichweite: Energiebedarf/100 Fzgkm: Anzahl produzierte Fahrzeugeinheiten: — davon z. Z. im Betriebs-Einsatz:	elektrische Nutzbremsung der hydraulischen Bremsanlage vorgeschaltet 180-V-Hilfsmotor für hydraul. Hilfslenkung und Bremsunterstützung; 180V/12V Ladewandler 4 200 kg 1 170 kg 70 km/h 18s (0–50 km/h) 40–60 km je nach Fahrweise 76 kWh/100 Netzenergiebedarf 30 10	
Betriebserfahrungen:	Betriebserprobung im Rahmen des BMFT-Programms „Alternative Energien für den Straßenverkehr" in Berlin sowie im Paketverteilerdienst bei der Deutschen Bundespost in Bonn. Seit 1981 im Einsatz; bis zu max. 50 00 km pro Fahrzeug	
Zusätzliche Bemerkungen:		

Tabelle 5

Technische Daten des DB-Elektrotransporters 307 E

Marke/Fahrzeugtyp:	DB/307 E	Verkaufspreis ca. 70 000 DM ohne Batterie
Antriebsaggregat: – Leistung (Dauer/max.):	Gleichstrom-Reihenschlußmotor mit Eigenbelüftung 18/25 KW	
Antriebsteuerung: Energiespeicher (Marke/Typ): — System: — Spannung: — Kapazität: — Gewicht: — Energiedichte (5h): — Leistungsdichte: — Lebensdauer/Zyklenzahl	mikroprozessorgesteurte Impulssteuerung 5 PzS 400 H Blei-Säure-Batterie 80 V 400 Ah 1 010 kg 32 Wh/kg 1/3h 41 W/kg bzw. 110 W/dm^3 ca. 1 000 Zyklen	 Verkaufspreis ca. 12 000 DM
Ladegerät:	externes 80-V-Ladegerät	Verkaufspreis / DM
Bremssystem: Nebenaggregate: Zulässiges Gesamtgewicht: Nutzlast: Höchstgeschwindigkeit: Beschleunigung: Reichweite: Energiebedarf/100 Fzgkm: Anzahl produzierte Fahrzeugeinheiten: — davon z. Z. im Betriebs-Einsatz:	elektrische Nutzbremsung der hydraulischen Bremsanlage vorgeschaltet Spannungswandler für Bordnetzversorgung 4300 kg max. 1 000kg 44 km/h 16,5s (0–30 km/h) ca.50 km je nach Fahrweise ca. 52 kWh/100 km Netzenergiebedarf 2 2	
Betriebserfahrungen:	Seit Frühjahr 1988 beim Stadtreinigungs- und Fuhramt der Stadt Düsseldorf im Einsatz.	
Zusätzliche Bemerkungen:	Elektrotransporter für kommunale Einsätze	

Tabelle 6

Technische Daten des MAN-Batterie-Elektrobusses SL-E und Betriebsergebnisse

Fahrzeug Fahrzeugtyp	MAN SL-E	
Zul. Gesamtgewicht	24 t	
Batteriegewicht	6,1 t	
Batteriegewicht/Leergewicht	39 %	
Fahrgäste	100 Personen	
Spitzengeschwindigkeit	70 km/h	
Beschleunigung	0 auf 50 km/h — 23 sec	
Reichweite	70 km	
Antrieb	fremderregt BOSCH	Reihenschluß SIEMENS
Leistung:		
Nenn/1h/max.	90/108/180 kW	115/135/175 kW
max. Leistung/Leergewicht	11,5 kW/t	11,2 kW/t
max. Leistung/zul. Gesamtgewicht	7,5 kW/t	7,3 kW/t
max. Strom	550 A	800 A
max. Drehzahl	4 000 min^{-1}	4 100 min^{-1}
Batterie		
Zellen, VARTA	7PzF 455	
Batteriespannung	360 V	
Nennkapazität	455 Ah	
Betriebsenergie	115 kWh	
Betriebsenergiedichte	18,9 Wh/kg	
Betriebsdaten		
Systemverfügbarkeit (1985)	0,36 Fehler/10 000 km	
Fahrzeuglebensdauer	ca. 12 Jahre, 500 000 km	
Antriebslebensdauer	> 12 Jahre, > 600 000 km	
Batterielebensdauer	ca. 140 000 km, 2 300 Zyklen	
Mittlerer Netzenergiebedarf:		
Fremderregter Antrieb	2,67 kWh/km	
Reihenschlußmaschine	3,07 kWh/km	
Mittlerer Nutzbremsgrad:		
fremderregter Antrieb	26 %	
Reihenschlußmaschine	20 %	

Tabelle 7

Technische Daten des CitySTROMer

Fahrzeug Fahrzeugtyp	VW-Golf Typ II	
	4-Sitzer	2-Sitzer
zulässiges Gesamtgewicht	1 690 kg	1 690 kg
Batteriegewicht	400 kg	480 kg
Batteriegewicht/Leergewicht	*31 %*	*36 %*
Nutzlast	390 kg	300 kg
Spitzengeschwindigkeit	100 km/h	
Beschleunigung 0—50 km/h	13 sec	
Reichweite	40 km	56 km
Antrieb		
Leistung Nenn/1h/max.	12/14/32 kW	
max. Leistung/Leergewicht	17,7 kW/t	16,5 kW/t
max. Leistung/zul. Gesamtgewicht	13,5 kW/t	13,5 kW/t
max. Strom	280 A	
max. Drehzahl	6 700 min^{-1}	
Batterie		
Zellen	verschiedene Hersteller	
Batteriespannung	96 V	
Nennkapazität	140 Ah	175 Ah
Betriebsenergie	10 kWh	13 kWh
Betriebsenergiedichte	25 Wh/kg	27 Wh/kg
Betriebsdaten		
Systemverfügbarkeit (1988)	2 Fehler/10 000 km	
Fahrzeuglebensdauer	> zehn Jahre	
Antriebslebensdauer	> zehn Jahre	
Batterielebensdauer	15 000—20 000 km (300—400 Zyklen)	25 000—30 000 km (500—600 Zyklen)
Mittlerer Energiebedarf	0,3 kWh/km	
Mittlerer Nutzbremsgrad	*10 %*	
Mittlerer Strommengenbedarf aus der Batterie	2,6 Ah/km	

Tabelle 8

Technische Daten des Solarautos der Ingenieurschule Biel

Technische Daten des Solarautos der Ingenieurschule Biel	
Karosserie:	selbsttragend, aus Kohlefaser
Fahrwerk:	Einzelradaufhängung, vorne aus Kohlefaser
Lenkung:	Zahnstangenlenkung, Wendekreis ca. 9 m
Cw-Wert:	ca. 0,22
Räder:	2 Doppelscheibenräder vorne, 1 Antriebsrad hinten, Durchmesser 0,5 m
Bremsen:	Hydr. Zweikreisbremsanl. (Scheibenbremsen) Rekuperationsbremsung auf das Hinterrad
Solarpanel:	480 W bei 25 °C Umgebungstemperatur und einer Einstrahlung von 1 000 W/m^2, Solargenerator mit 448 Solarzellen und 4,66 m^2 Fläche
Batterie:	Bleibatterie, 80 Ah, 60 V
Motor:	Gleichstrommotor mit Permanentmagneten, 2,4 kW Stundenleistung, 3,6 kW Spitzenleistung während 4 Min.
Übertragung:	4-Gang-Kettengetriebe Eigenbau, mit Freilauf, der für Rekuperation blockiert wird
Abmessungen:	0,82 m Höhe, 1,8 m Breite, 3,95 m Länge, 0,5 m Spurbreite, 2,25 m Radstand
Gewicht:	210 kg leer
Geschwindigkeit:	Max. ca. 110 km/h
Reichweite:	ca. 100 km

Tabelle 9

Eigenschaften neuer Batterien im Vergleich zum Bleiakkumulator

System	Pb/PbO_2	Fe/Ni	Zn/Br_2	Na/S	Li/FeS_x	
Betriebstemperatur, °C	< UT	UT	UT	320	x=1 450	x=2 400
Elektrolyt	H_2SO_4	KCH oder NaCH	Zn/Br_2 in H_2O	Fest-elektrolyt	Salzschmelze	
Ruhespannung U_O	2,0	1,4	1,8	2,1	1,3	1,7
gravimetrische Energiedichte, Wh/kg						
theoretisch[1])	167	267	430	758	460	650
erreicht[2])	28	46	55	85	100[5])	120[5])
Ziel	40	60	80	120	120[5])	200[5])
gravimetrische Leistungsdichte[3]), W/kg						
erreicht	100	200	80	120	120[5])	—
Ziel	150	?	120	180	160[5])	200[5])
Zyklen						
erreicht Batterie	500—1 000	1 000	100	300	—	—
erreicht Mittelwert Zellen	—	—	> 1 000	1 500	bis 1 000	300
Rohstoffverfügbarkeit Jahre[4])	40 (Pb)	110 (Ni)	40 (Zn)	6 000 (Na)	400 (Li)	
Literatur	1	2	5	6	7	8

[1]) nur Reaktandengewicht berücksichtigt
[2]) bei zweistündiger Entladung der Batterie
[3]) bei ⅔ der Ruhespannung der Batterie
[4]) Vorräte geteilt durch den momentanen Jahresverbrauch (9) = (11)
[5]) Zellwerte, noch keine Batterien gebaut; Batteriewerte werden bis um Faktor 2 niedriger liegen
[6]) nur H_2 berücksichtigt

Tabelle 10

Abgasgrenzwerte für die Typprüfung von Personenwagen mit Ottomotor in der Bundesrepublik Deutschland nach § 47 Straßenverkehrszulassungsordnung

Technische Schadstoffklasse	US-Norm	Europa-Norm		Stufe A	Stufe B	Stufe C	ECE-Norm 15/04
Steuerliche Schadstoffklasse	schadstoffarm	schadstoffarm		bedingt schadstoffarm			nicht schadstoffarm
Hubraumbegrenzung	—	über 2 000 ccm	1 400 ccm bis 2 000 ccm	keine	keine	unter 1 400 ccm	
Maximalwerte — Kohlenwasserstoff (HC)	0,25 g/km	keine	keine	keine	max. 5 % mehr	keine	keine
— Kohlenmonoxid (CO)	2,1 g/km	25 g/Test	30 g/Test	58–110 g/Test[2])	max. 5 % mehr	38,25 g/Test	58–110 g/Test[2])
— Stickoxide (NO_x)	Fahrkurve 1 0,62 g/km Fahrkurve 2 0,76 g/km	3,5 g/Test	keine	6,0 g/Test	min. 30 % unter Typengrenzwert	6,0 g/Test	keine
— Summe ($HC+NO_x$)	keine	6,5 g/Test	8 g/Test	12,75 g/Test/15 g[1])	keine	12,75 g/Test	19–28 g/Test[2])
— Kraftstoffverdampfung	2,0 g/Test	—	—	—	—	—	—

[1]) über 1 150 kg Leergewicht [2]) je nach Gewicht

Die Abgaswerte werden gemessen, während die Automobile auf einem Rollenprüfstand einen Fahrzyklus simulieren. Bei diesem Fahrzyklus (Ausnahme US-Norm) wird eine Höchstgeschwindigkeit von 50 Kilometern pro Stunde erreicht. Die Durchschnittsgeschwindigkeit dieses 4 km langen Fahrzyklus beträgt 18,7 km/h, der Leerlauf-Zeitanteil 31 %. Die Grenzwerte müssen für die Typprüfung eingehalten werden, in der Serie dürfen sie um 20, teilweise 25 Prozent übertroffen werden. In der Bundesrepublik Deutschland gelten derzeit für die Stufe C um 15 Prozent geringere Werte als im übrigen Europa. Bei der Prüfung nach US-Norm ist eine zeitweilige Höchstgeschwindigkeit von 96,4 Stundenkilometern vorgeschrieben. Die Durchschnittsgeschwindigkeit während des Tests liegt bei 31,67 Kilometern pro Stunde (Fahrkurve 1) und 77,4 km/h (Fahrkurve 2). Der Fahrzyklus umfaßt eine Länge von insgesamt 50,8 km und dauert rund 67 Minuten. Zudem verlangt das US-Verfahren noch einen Dauertest über eine Strecke von 80 000 Kilometern.

Tabelle 11

Jährliche Betriebskosten Elektro-Pkw und konventioneller Pkw bei unterschiedlichen Produktionsmengen

Pkw Jahresproduktion	Blei-Säure-Batterie					
	1 000	5 000	10 000	50 000	100 000	>50 000
Anschaffung (DM)						
— Fahrzeug	46 859	31 090	27 143	17 950	15 322	14 439
— Batterie	9 069	8 314	7 709	4 534	4 534	0
Einzelkosten (Pfg/km)						
— Fahrzeug + Reifen	101,92	67,62	59,04	39,04	33,33	31,40
— Batterie	30,89	28,30	26,25	15,44	15,44	0,00
Energie (Pfg/km)						
— Kraftstoff						5,79
— elektr. Energie	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	
Nebenkosten (Pfg/km)						
— Fahrzeugwartung	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	7,63
— Steuern + Versicherung	11,53	11,53	11,53	11,53	11,53	19,55
Gesamtkosten (Pfg/km)	156,94	120,05	109,42	78,61	72,90	64,37
Gesamtkosten (DM/anno)	12 555	9 604	8 754	6 289	5 832	5 150
Vergleichskosten (%)	*243,8*	*186,5*	*170,0*	*122,1*	*113,3*	*100,0*

Pkw Jahresproduktion	Natrium-Schwefel-Batterie					
	1 000	5 000	10 000	50 000	100 000	>50 000
Anschaffung (DM)						
— Fahrzeug	46 859	31 090	27 143	17 950	15 322	14 439
— Batterie	13 000	9 000	8 000	5 000	4 500	0
Einzelkosten (Pfg/km)						
— Fahrzeug + Reifen	101,92	67,62	59,04	39,04	33,33	31,40
— Batterie	49,06	33,96	30,19	18,87	16,98	0,00
Energie (Pfg/km)						
— Kraftstoff						5,79
— elektr. Energie	7,90	7,90	7,90	7,90	7,90	
Nebenkosten (Pfg/km)						
— Fahrzeugwartung	4,70	4,70	4,50	4,70	4,70	7,63
— Steuern + Versicherung	11,53	11,53	11,53	11,53	11,53	19,55
Gesamtkosten (Pfg/km)	175,11	125,71	113,36	82,04	74,44	64,37
Gesamtkosten (DM/anno)	14 009	10 057	9 069	6 563	5 955	5 150
Vergleichskosten (%)	*272,0*	*195,3*	*176,1*	*127,5*	*115,6*	*100,0*

Tabelle 12

Vergleich der jährlichen Betriebskosten Elektro-Transporter und konventioneller Transporter bei unterschiedlichen Produktionsmengen

Transporter Jahresproduktion	Blei-Säure-Batterie			
	50	1 000	10 000	>50 000
Anschaffung (DM)				
— Fahrzeug	68 710	48 349	36 947	17 950
— Batterie	19 620	15 042	13 898	0
Einzelkosten (Pfg/km)				
— Fahrzeug + Reifen	151,08	106,78	81,98	50,54
— Batterie	63,58	51,95	48,01	0,00
Energie (Pfg/km)				
— Kraftstoff				6,70
— elektr. Energie	11,10	11,10	11,10	
Nebenkosten (Pfg/km)				
— Fahrzeugwartung	4,20	4,20	4,20	6,90
— Steuern + Versicherung	15,11	15,11	15,11	24,03
Gesamtkosten (Pfg/km)	245,07	189,14	160,40	88,17
Gesamtkosten (DM/anno)	19 606	15 131	12 832	7 054
Vergleichskosten (%)	*278,0*	*214,5*	*181,9*	*100,0*

Transporter Jahresproduktion	Natrium-Schwefel-Batterie			
	50	1 000	10 000	>50 000
Anschaffung (DM)				
— Fahrzeug	68 710	48 349	36 947	17 950
— Batterie	40 000	31 500	17 500	0
Einzelkosten (Pfg/km)				
— Fahrzeug + Reifen	151,08	106,78	81,98	50,54
— Batterie	150,95	118,87	66,04	0,00
Energie (Pfg/km)				
— Kraftstoff				6,70
— elektr. Energie	11,10	11,10	11,10	
Nebenkosten (Pfg/km)				
— Fahrzeugwartung	4,20	4,20	4,20	6,90
— Steuern + Versicherung	15,11	15,11	15,11	24,03
Gesamtkosten (Pfg/km)	332,44	256,06	178,43	88,17
Gesamtkosten (DM/anno)	26 595	20 485	14 274	7 054
Vergleichskosten (%)	*377,0*	*290,4*	*202,4*	*100,0*

Tabelle 13

Kostenvergleich zwischen konventionell und elektrisch angetriebenem Standard-Linienbus

Standard-Linienbus, konventionell angetrieben		
Kalk. Nutzungsdauer	10	10
Kalk. Zinssatz	8	8
Fahrleistung/a	40 000	60 000
Vorsteuerabzug	ja	ja
Anschaffungspreis	414 512,00	414 512,00
Abschreibung	149,22	99,48
Energiekosten		
— Kraftstoff	22,20	22,20
— elektr. Energie	0,00	0,00
Fahrzeug-Nebenkosten		
— Wartung	85,50	85,50
— Steuer	0,00	0,00
— Versicherung	21,47	14,31
Gesamt Pf/km	278,39	221,49
DM/a	111 356,00	132 894,00
Standard-Linienbus, elektrisch angetrieben		
Kalk. Nutzungsdauer	10	10
Kalk. Zinssatz	8	8
Fahrleistung/a	40 000	60 000
Vorsteuerabzug	ja	ja
Anschaffungspreis	745 818,00	745 818,00
Abschreibung	335,62	179,00
Energiekosten		
— Kraftstoff	0,00	
— elektr. Energie	59,30	59,30
Fahrzeug-Nebenkosten		
— Wartung	66,00	66,00
— Steuer	0,00	0,00
— Versicherung	21,47	14,31
Gesamt Pf/km	482,39	318,61
DM/a	192 956,00	191 660,00

Abbildung 1

Anforderungsprofil Elektro-Bus

- **Einfügung in die VÖV–Busfamilie**
  Standardisierung, Baukastensystem
- **Ganztägiger Wagenumlauf**
  ohne Rückwirkung auf Fahrplan
- **Bedienbare Linienlänge 25 km**
  ohne zusätzliche Ausfallzeiten
- **Handhabung vergleichbarer Dieselbus**
  ohne zusätzliche Anforderung an Fahrer
- **Technische Verfügbarkeit wie Dieselbus**
  robuste Technik und einfache Instanthaltung
- **Gesamtkosten nicht wesentlich über Dieselbus**
  Berücksichtigung Energie — und Umweltbonus

Abbildung 2

Endenergieverbrauch im Verkehr nach Energieträgern und Verkehrsarten 1985

Abbildung 3

Pkw-Neuzulassungen 1987, 1988; Anteil nach Schadstoffgruppen
(Quelle: Kraftfahrtbundesamt)

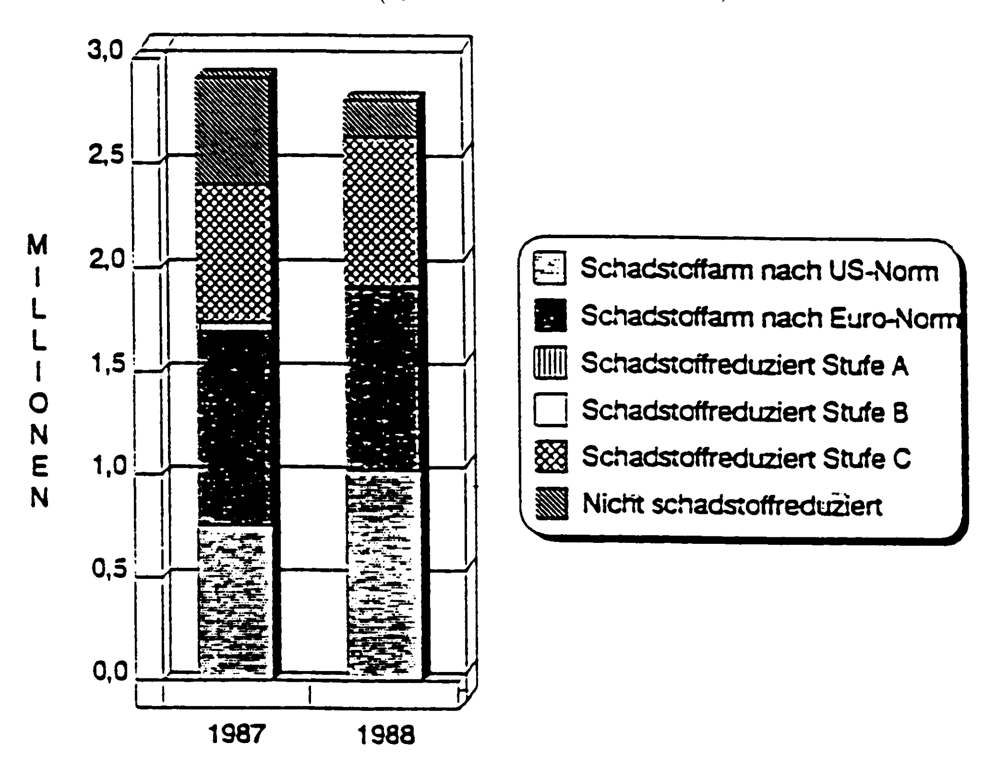


Abbildung 4

Kohlenmonoxidemissionen nach Emittenten 1976 bis 1986

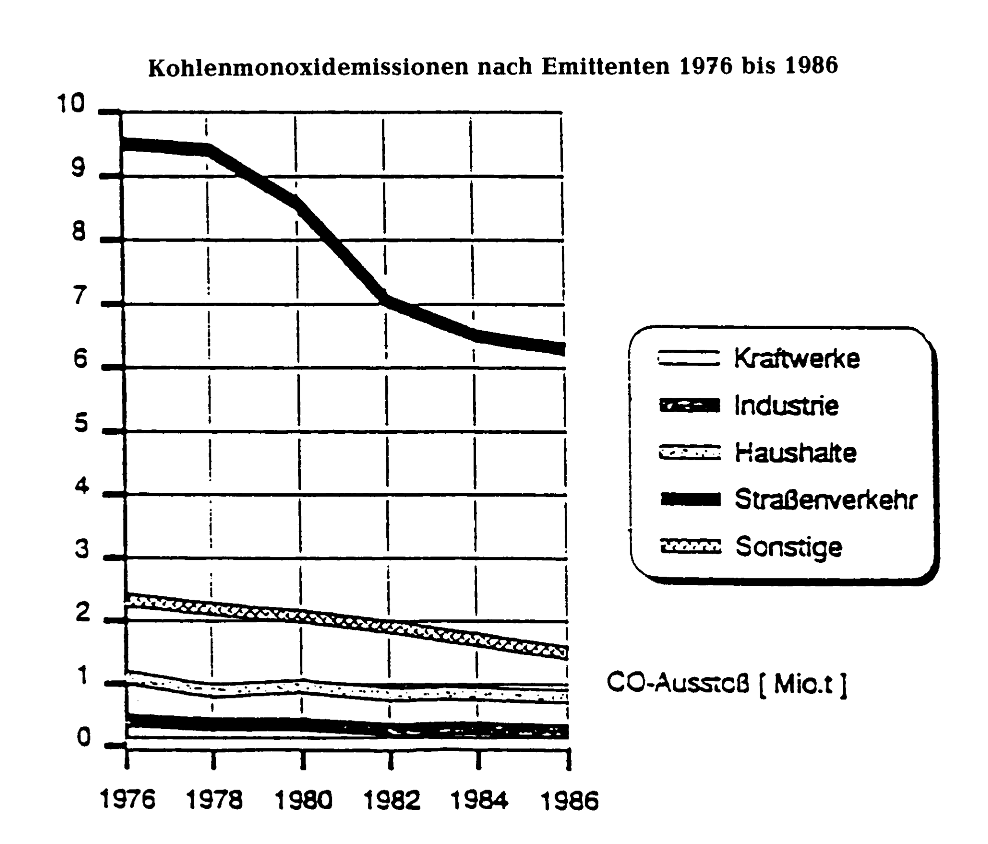


Abbildung 5

Stickoxidemissionen nach Emittenten 1976 bis 1986

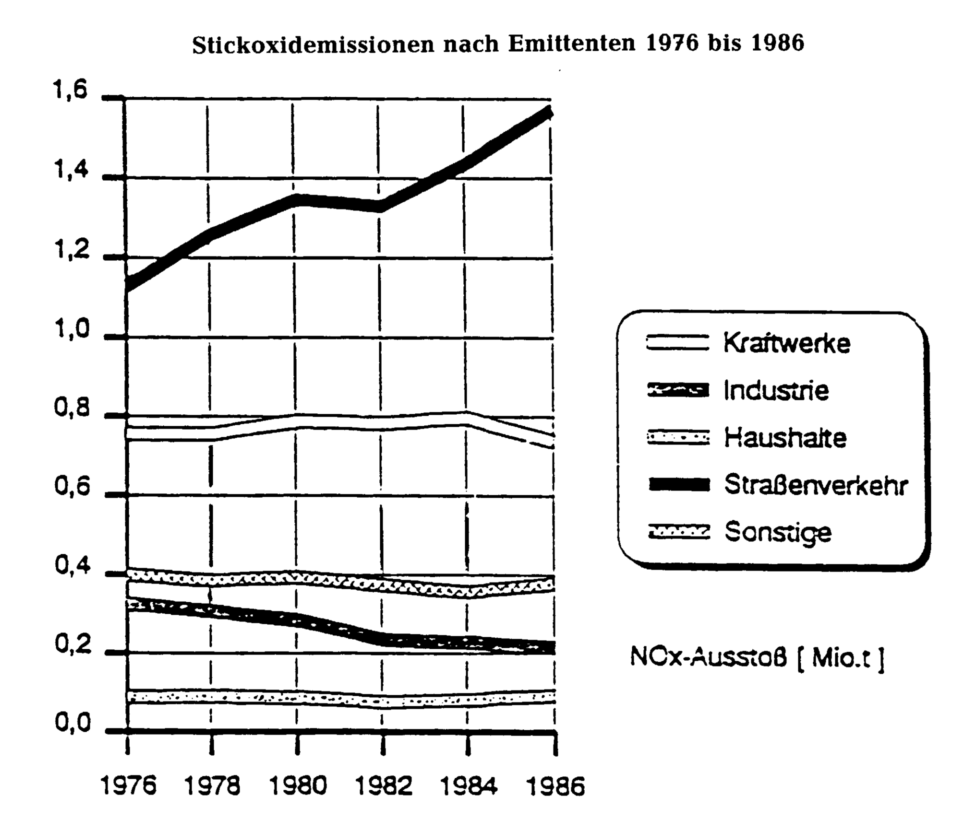


Abbildung 6

Schwefeldioxidemissionen nach Emittenten 1976 bis 1986

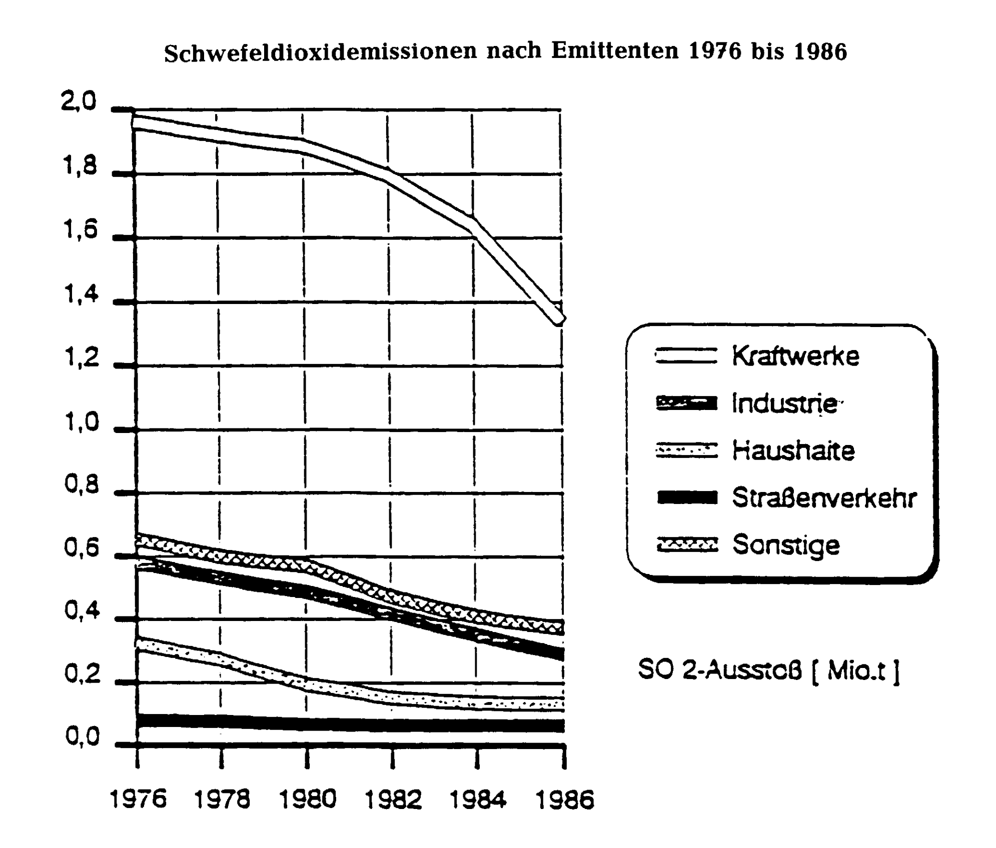




Abbildung 7

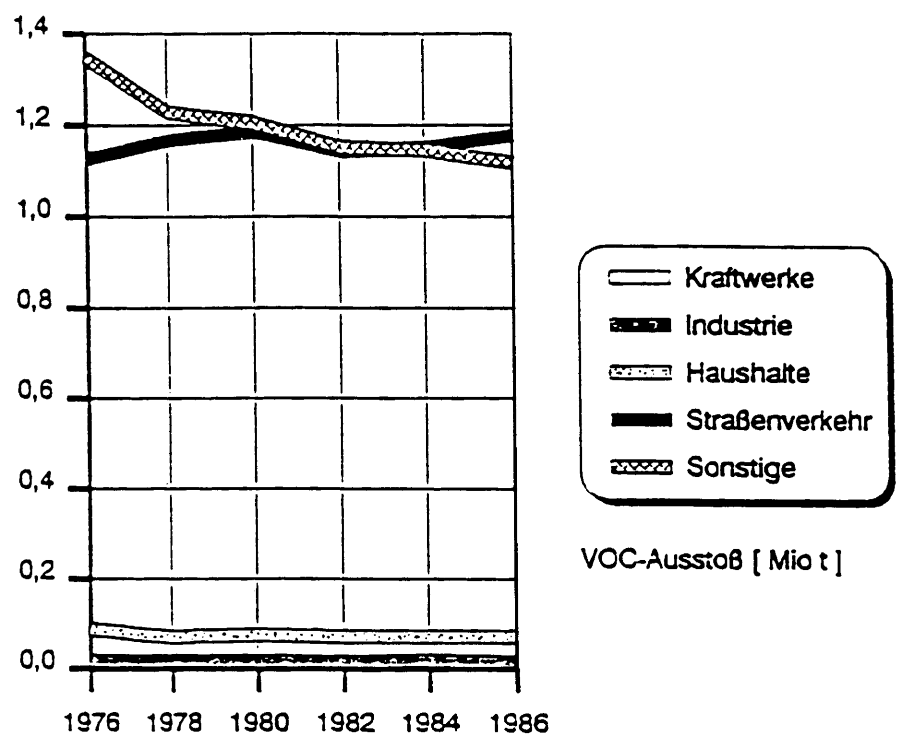


Abbildung 8

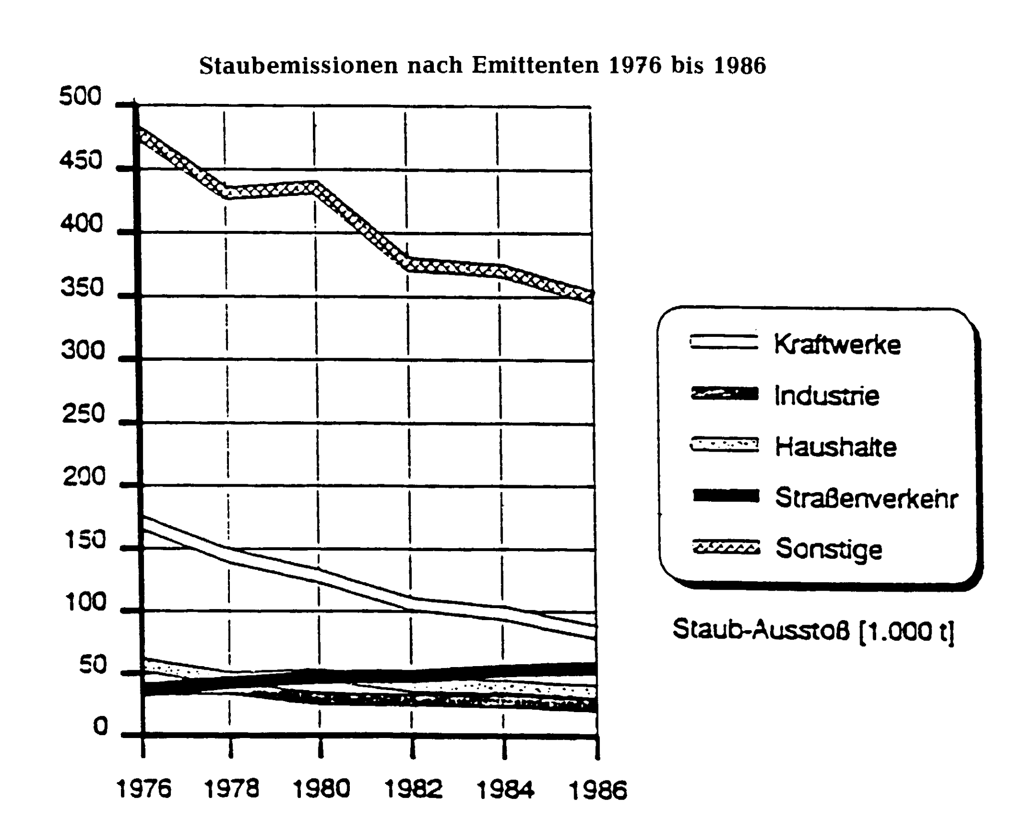
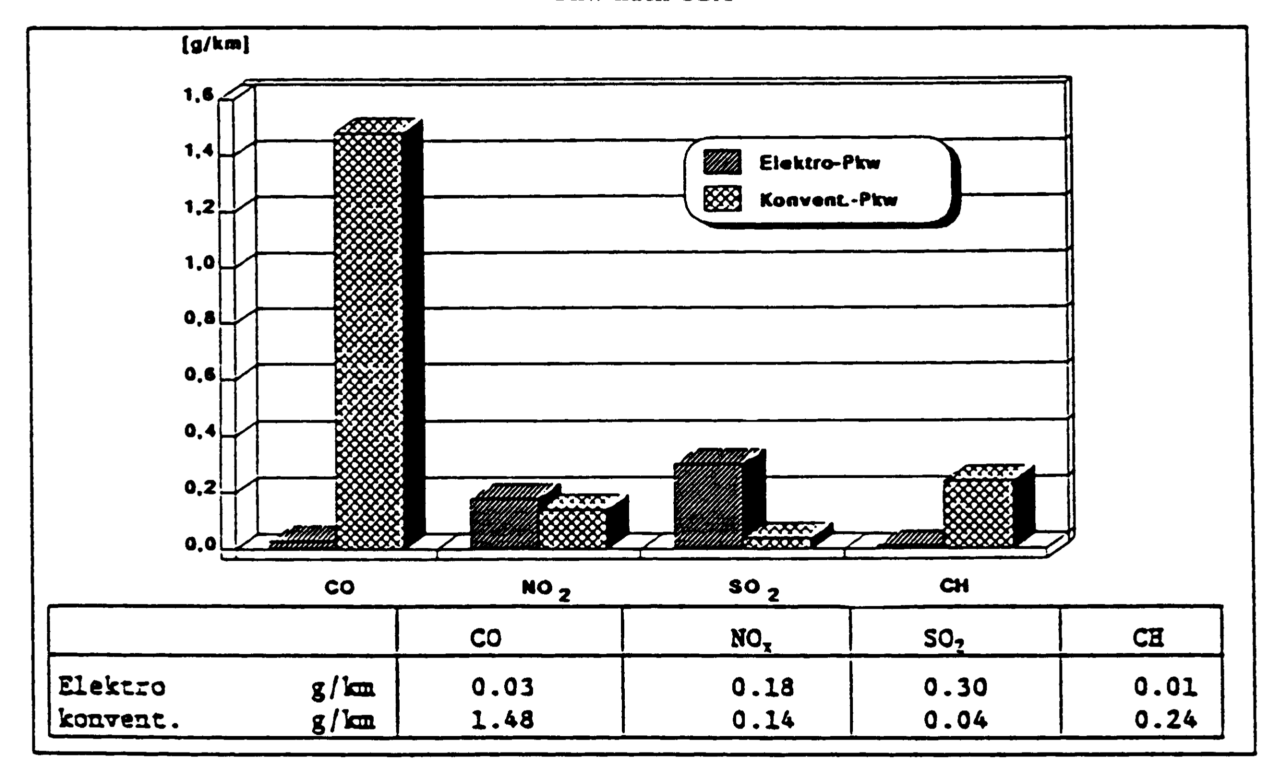


Abbildung 9

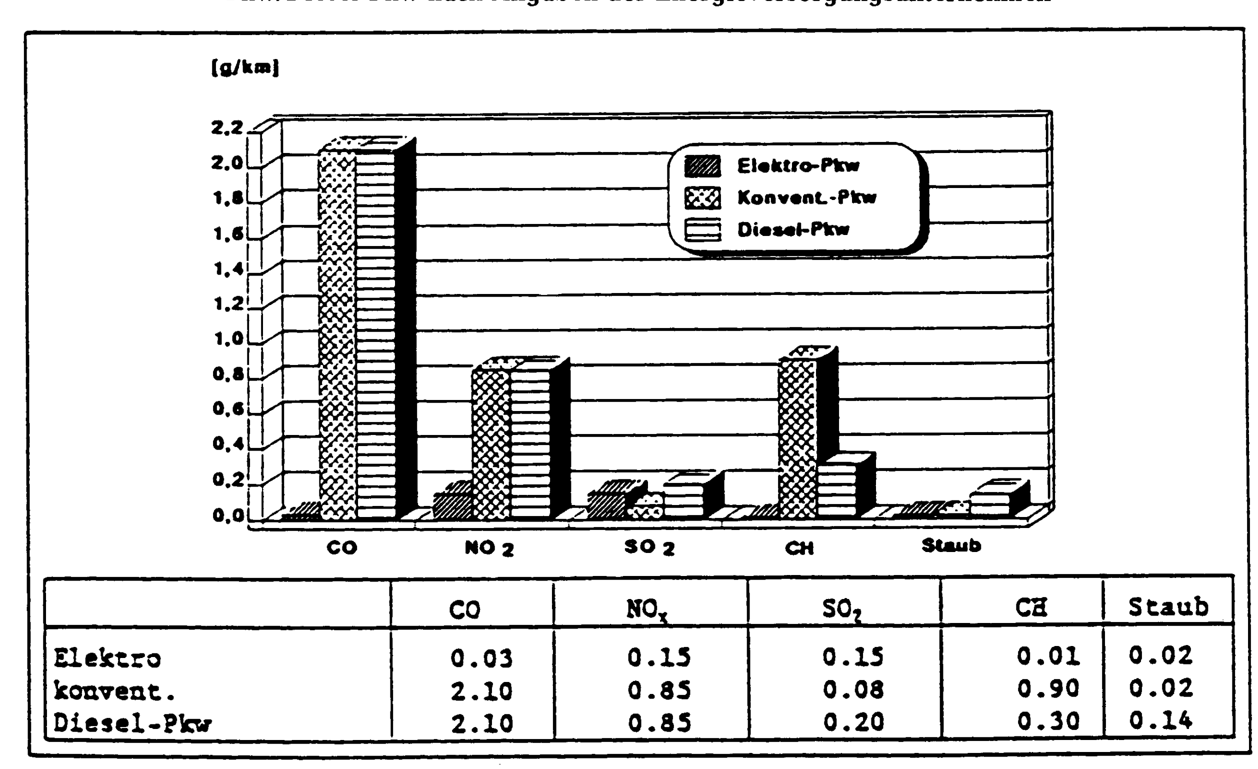
Emissionsvergleich Elektro-Pkw/konvent. Pkw nach UBA



	CO	NO_x	SO_2	CH
Elektro g/km	0.03	0.18	0.30	0.01
konvent. g/km	1.48	0.14	0.04	0.24

Abbildung 10

Emissionsvergleich Elektro-Pkw/konvent. Pkw/Diesel-Pkw nach Angaben der Energieversorgungsunternehmen



	CO	NO_x	SO_2	CH	Staub
Elektro	0.03	0.15	0.15	0.01	0.02
konvent.	2.10	0.85	0.08	0.90	0.02
Diesel-Pkw	2.10	0.85	0.20	0.30	0.14

Abbildung 11

Investition für Elektro-Pkw bei unterschiedlichen Batterien und unterschiedlichen Produktionszahlen

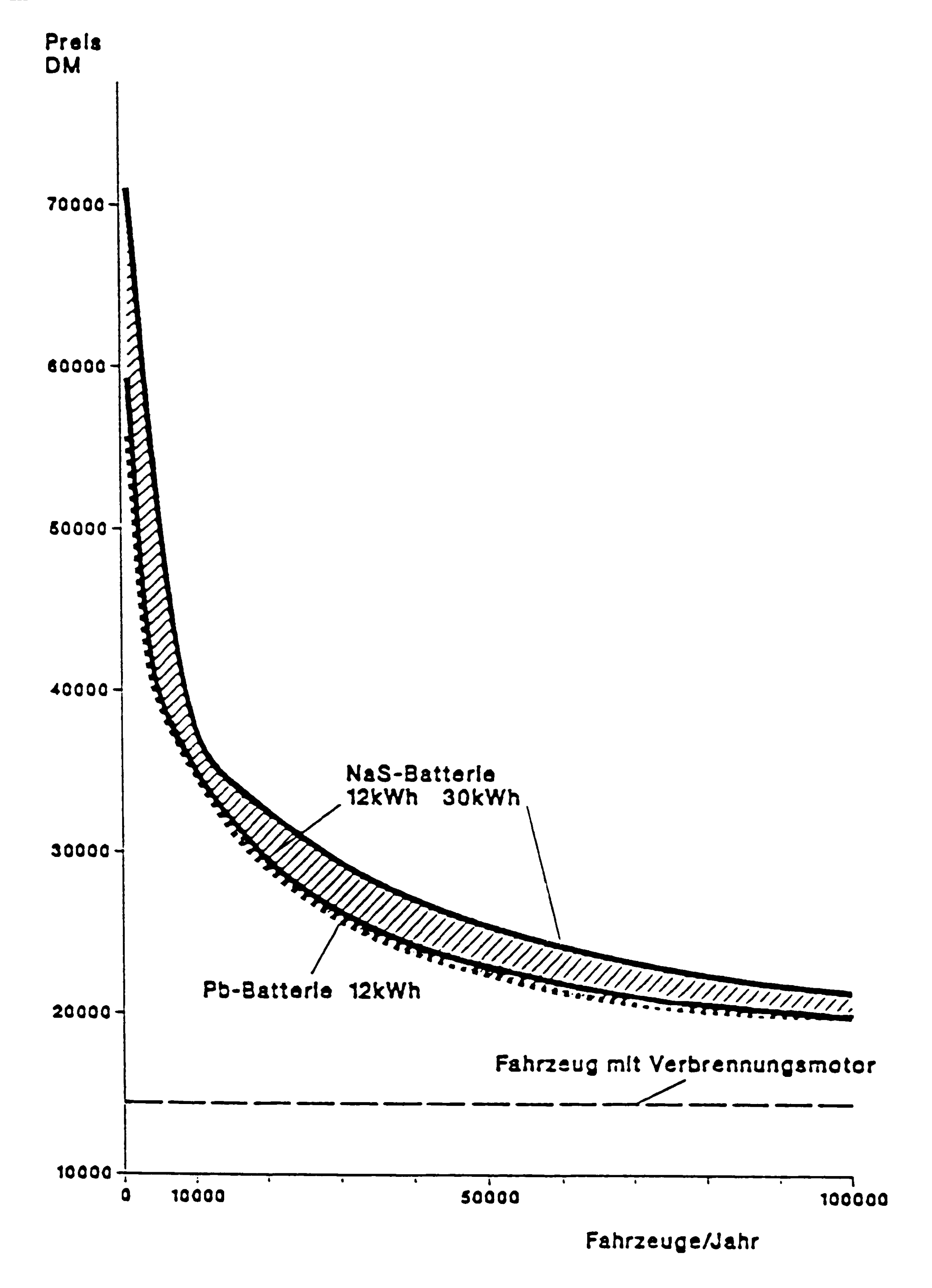


Abbildung 12

Investitionen für Elektro-Transporter bei unterschiedlichen Batterien und unterschiedlichen Produktionszahlen

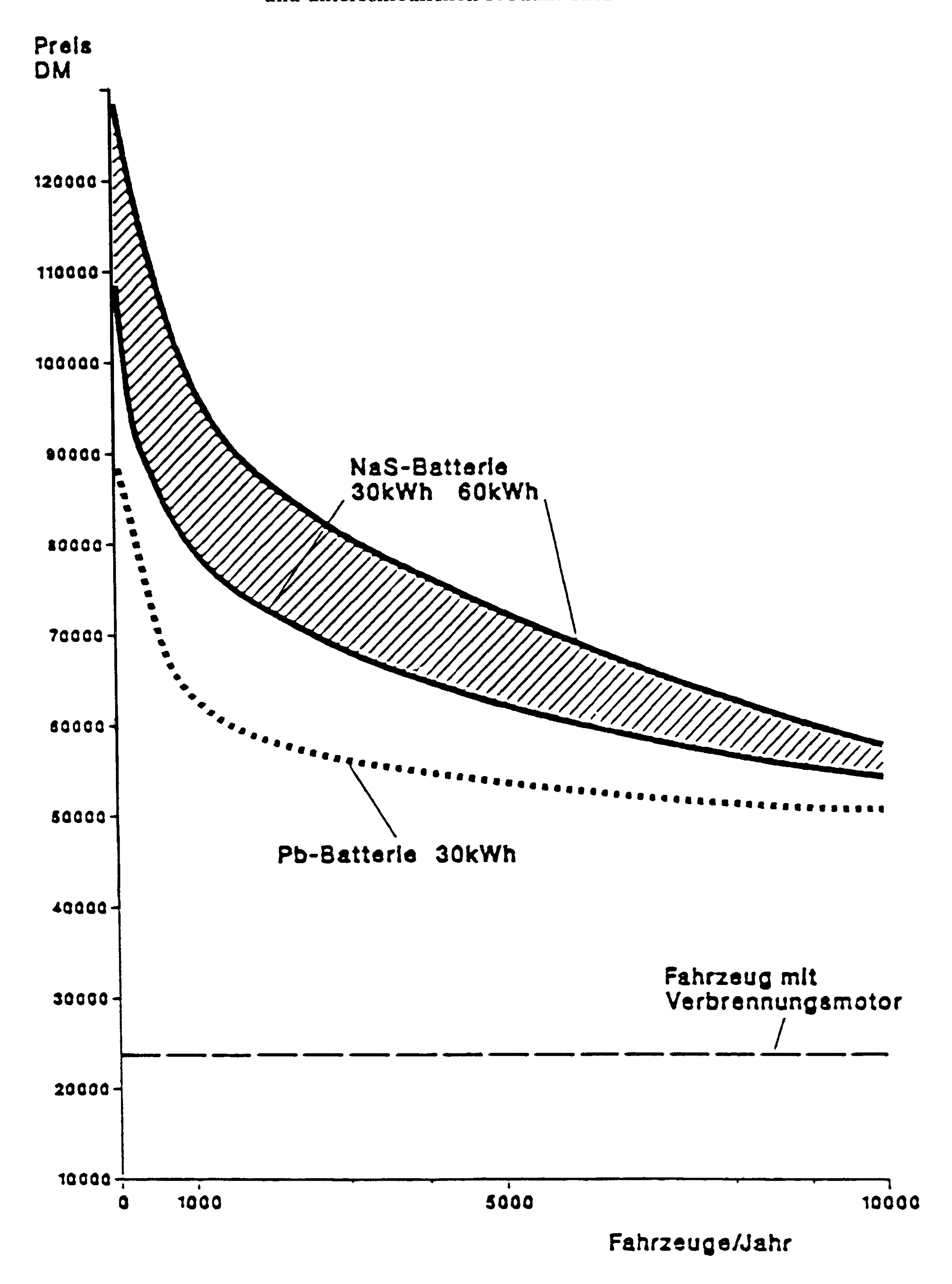


Abbildung 13

Vergleich der jährlichen Betriebskosten Elektro-Pkw und konventioneller Pkw bei unterschiedlichen Produktionsmengen

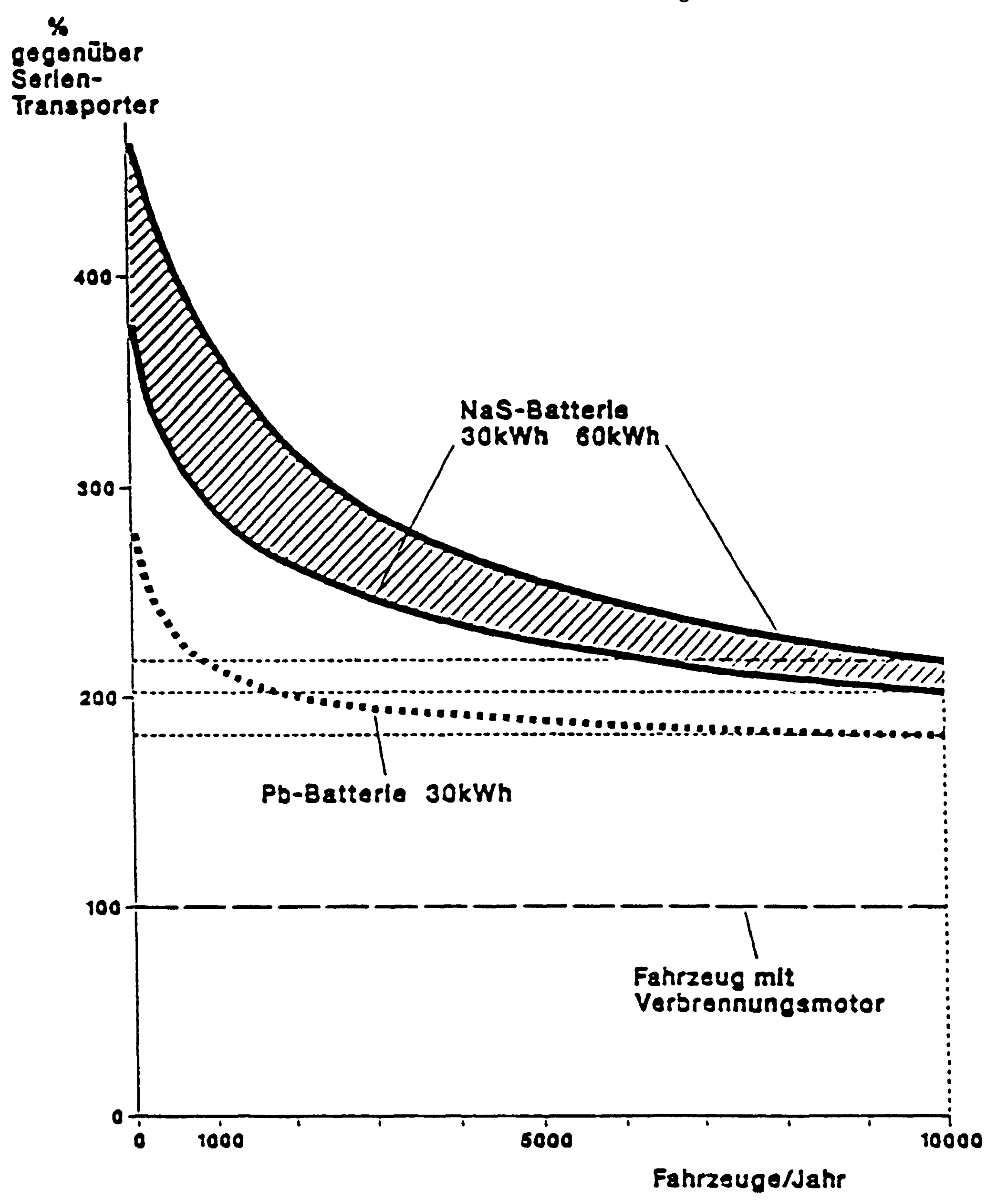
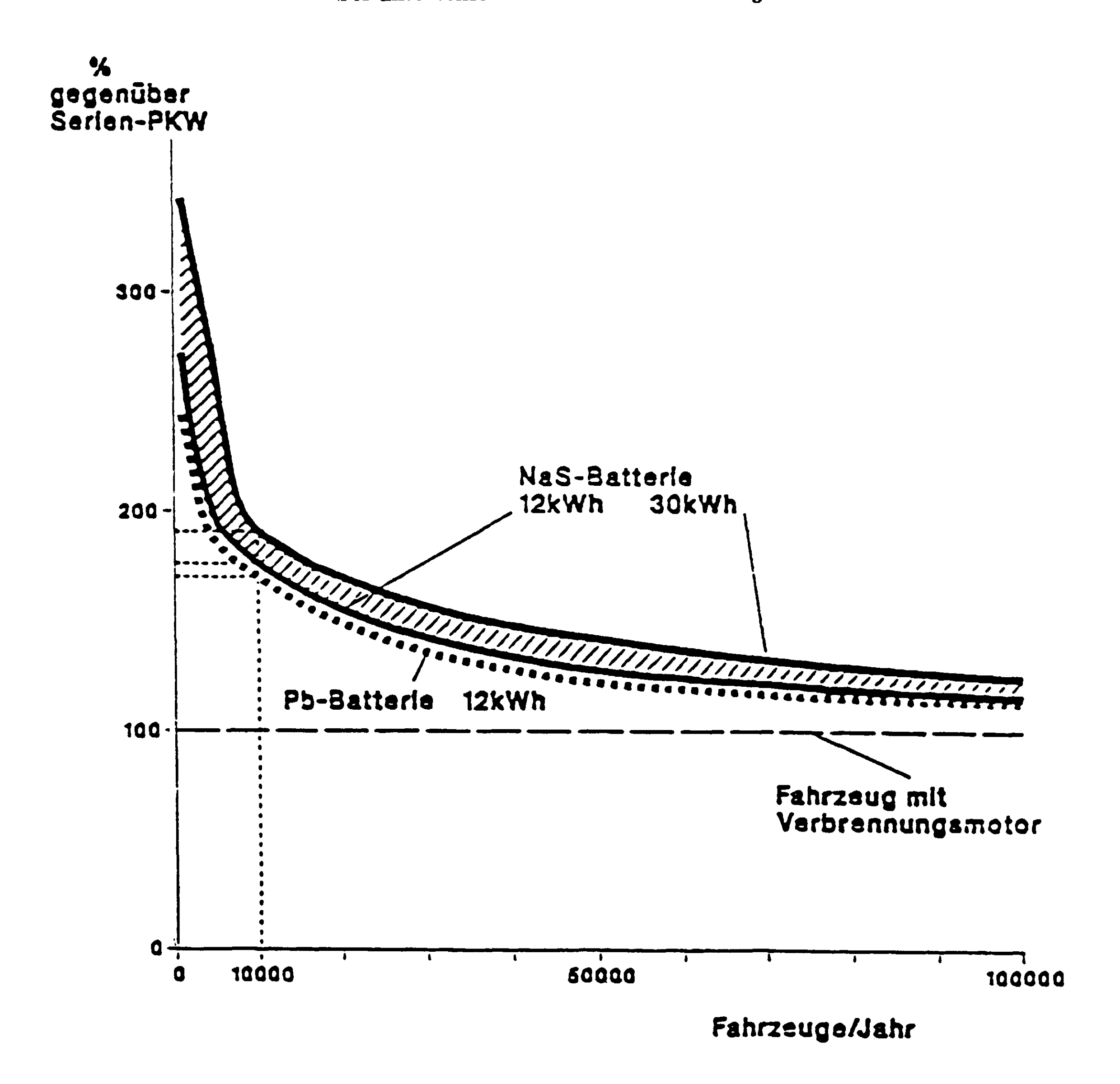


Abbildung 14

Vergleich der jährlichen Betriebskosten Elektro-Transporter und konventioneller Transporter bei unterschiedlichen Produktionsmengen



Druck: Bonner Universitäts-Buchdruckerei, 5300 Bonn
Alleinvertrieb: Verlag Dr. Hans Heger, Postfach 20 13 63, Herderstraße 56, 5300 Bonn 2, Telefon (02 28) 36 35 51
ISSN 0722-8333